Symposium: Heinrich Hertz (1857–1894) and the Development of Communication

Figure 0.1:
Portrait of Heinrich Hertz (1857–1894)

Painting in the Department of Physics, Hamburg University
Photography: Robert Klanner

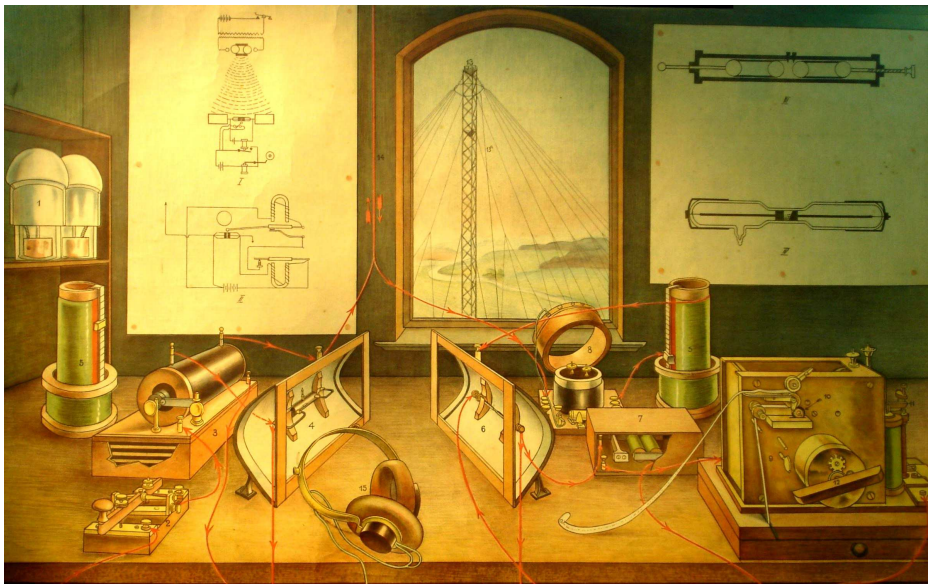
Nuncius Hamburgensis
Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften
Band 10

Gudrun Wolfschmidt (ed.)

Heinrich Hertz (1857–1894) and the Development of Communication

Proceedings of the Symposium for History of Science

Hamburg, October 8–12, 2007



Norderstedt bei Hamburg 2008

Nuncius Hamburgensis

Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften

Hrsg. von Gudrun Wolfschmidt,
Bereich Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik und Technik,
Department Mathematik, MIN-Fakultät, Universität Hamburg
ISSN 1610-6164

Diese Reihe „Nuncius Hamburgensis“
wird gefördert von der Hans Schimank-Gedächtnisstiftung.
Dieser Titel wurde inspiriert von „Sidereus Nuncius“ und von „Wandsbeker Bote“.

Wolfschmidt, Gudrun (ed.):
Heinrich Hertz (1857–1894) and the Development of Communication.
Proceedings of the Symposium for History of Science.
Hamburg, October 8–12, 2007.
Nuncius Hamburgensis – Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften; Band 10
Herstellung und Verlag: Books on Demand GmbH, Norderstedt 2008
(ISBN 978-3-8370-3131-7).

Web page of the symposium:
`http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/events/hertz07.htm`

Figure on the cover in front and on the title page:
Hertz' discovery of electromagnetic waves
Museum für Kommunikation – Foto: Gudrun Wolfschmidt

Figure frontispiece:
Portrait of Heinrich Hertz (1857–1894),
Painting in the Department of Physics, Hamburg University

Figure on the back of the cover:
Cover back page: Advertisement of Telefunken (founded in 1903)

Zu besonderem Dank verpflichtet sind wir gegenüber der Behörde für Wissenschaft und Forschung Hamburg (BWF), die das Symposium und den Druck der Proceedings unterstützt hat.

Bereich Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik und Technik (SPGN),
Fachbereich Mathematik, Universität Hamburg
Bundesstraße 55 – Geomatikum, D-20146 Hamburg

Contents

Preface of the editor
Gudrun Wolfschmidt 15

Welcome address
Staatsrat Dr. Roland Salchow 17

Welcome address
Prof. Dr. Arno Frühwald 21

Heinrich Hertz: Life, Work, and Influence
Roger H. Stuewer (Minneapolis, MN, USA) 23

HEINRICH HERTZ (1857–1894) – PHILOSOPHY OF SCIENCE 29

Verlust der Welt im Bild: Ursprung und Entwicklung des Bildbegriffes bei Hermann von Helmholtz und Heinrich Hertz
Gregor Schiemann (Wuppertal) 31
1.1 Bildhaftes im Zeichen. Elemente von Helmholtz' Wissenschaftsauffassung bis etwa zum Beginn der 70er Jahre . . . 32
1.2 Zeichenhaftigkeit im Bild. Elemente in Helmholtz' Wissenschaftsauffassung seit etwa dem Beginn der 70er Jahre . . . 36
1.3 Bildervielfalt der Zeichen.Hertz' Wissenschaftstheorie in den „Prinzipien der Mechanik" (1894) . . . 40
1.4 Schluß . . . 47
1.5 Literatur . . . 49

Heinrich Hertz und das Konzept des mathematischen Modells
Claus Peter Ortlieb (Hamburg) 53
2.1 Der Modellbegriff . . . 53
2.2 Die Anfänge: Identität von Mathematik und Natur . . . 56
2.3 Kants Neubestimmung des Verhältnisses von Mathematik und Naturwissenschaft . . . 61
2.4 Verlust der Eindeutigkeit im 19. Jahrhundert . . . 63
2.5 Anforderungen an Modelle . . . 65
2.6 Grenzen mathematischer Naturerkenntnis . . . 68
2.7 Literatur . . . 70

The Implausible Story of
How Heinrich Hertz Influenced Ludwig Wittgenstein
Allan Janik (Innsbruck) 73
3.1 Works Consulted . . . 79

Hertz, Wittgenstein, and the Instrumentalist Turn
in the Philosophy of Science
John Preston (Reading, England) 81
4.0.1 Hertz's Kantian Presentation . . . 82
4.0.2 The Status of the Rival Systems of Mechanics . . . 84
4.1 The Status of Hertz's own Fundamental Law . . . 86
4.2 The Status of Hertz's Concealed Masses . . . 87
4.2.1 Philosophy of Science in the *Tractatus* . . . 89
4.2.2 'Principles of Nature' . . . 89
4.2.3 Systems of Mechanics . . . 90
4.2.4 Conclusion: Hertz's Anti-realism, and Wittgenstein's . . . 92
4.2.5 References . . . 92

Hertz's methodology and its influence on Einstein
Giora Hon (Haifa, Israel) and
Bernard R. Goldstein (Pittsburgh, USA) 95
5.1 References . . . 104

"Pictures", "Bumps", and Structures:
Heinrich Hertz, Ludwig Wittgenstein and
Concepts of Fuzziness in Epistemology
Rudolf Seising (Vienna) 107
6.1 Introduction . . . 108
6.2 Heinrich Hertz's epistemological system
in the *Principles of Mechanics* . . . 109
6.3 Wittgenstein I . . . 111
6.4 Wittgenstein II . . . 113
6.5 Heinrich Hertz's epistemological system
in *The Constitution of Matter* . . . 116
6.6 The Theory of Fuzzy Sets and Systems . . . 117
6.7 Computing with Words and the Computational Theory of Perceptions . . . 121
6.8 The Structuralist View of Science . . . 123
6.9 A Fuzzy Structuralist View of Science . . . 125
6.9.1 Fuzzification: From Phenomena to Perceptions . . . 126
6.9.2 Defuzzification: From Perceptions to Models . . . 126
6.9.3 Theoretization: From Phenomena to Models . . . 126
6.10 Outlook: Hertz's pictures, Wittgenstein's family resemblances, and Zadeh's
fuzzy sets . . . 128
6.11 References . . . 130

ELECTROMAGNETISM AND ELECTRODYNAMICS – THEORY AND EXPERIMENT 133

Some experimental uses of sparks – 18th century electricity research
Peter Heering (Oldenburg) 135
7.1 Introduction . . . 135
7.2 Some general aspects of 18th century electrical experiments . . . 136
7.3 Generating electricity . . . 137
7.4 The Leyden jar . . . 139
7.5 Experimenting with electrical devices . . . 139
7.6 Lightning as an electrical phenomenon . . . 145
7.7 Conclusion . . . 146

Heinrich Hertz between the older electrodynamics and Maxwell's theory
Karl Heinrich Wiederkehr (Hamburg) 151
8.1 Literatur . . . 157

Berend Wilhelm Feddersen und die Hertz-Kontroverse"
Martin Henke (Hamburg) 161
9.1 Einleitung . . . 161
9.2 Die Hertz-Kontroverse . . . 162
9.2.1 Die Kieler Zeitung . . . 163
9.2.2 Die Ausländer . . . 166
9.2.3 Branly . . . 166
9.2.4 Zehnder . . . 167
9.2.5 Bosscha . . . 168
9.2.6 Bäcklund . . . 169
9.2.7 Chwolson . . . 170
9.2.8 Zenneck . . . 172
9.3 Quellenverzeichnis – Originalbriefe . . . 176
9.4 Publikationen . . . 177

Wenn Funken Wellen schlagen – Die Hertzschen Experimente
Martin Wegener (Karlsruhe) 179

Heinrich Daniel Rühmkorff – Inventor of the induction coil
Frank Dittmann (Munich) 181
11.1 Introduction . . . 181
11.2 Function . . . 182
11.3 On the biography of H. D. Rühmkorff . . . 184
11.4 An attempt of a critical biography . . . 187
11.5 The reception history . . . 191
11.6 Literature . . . 192

What Went on in the Laboratory?
Replicating the Early Hertz Experiments
Roland Wittje (Trondheim/Regensburg), Wolfgang Engels (Oldenburg) 197

HEINRICH HERTZ – PRINCIPLES OF MECHANICS 199

The Geometric Aspects of Hertz's Prinzipien der Mechanik
Jesper Lützen (Copenhagen) 201
13.1 Introduction . . . 201
13.2 Hertz's geometry of systems of points . . . 202
13.3 The nature of geometry . . . 204
13.4 Relations between the physical content and the geometric form . . . 205
13.5 Hertz's geometrization compared with that of earlier mathematicians . . . 207
13.6 Conclusion . . . 209
13.7 Literature . . . 209

The Mechanics of Representation and the Problem of Life:
The Philosophy of Heinrich Hertz
Alfred Nordmann (Darmstadt) 211
14.1 A Philosophical Program . . . 212
14.2 The Fundamental Law . . . 213
14.3 Limitations of the Fundamental Law . . . 216
14.4 The Virtue of Limitations . . . 219
14.5 The Mechanics of Representation . . . 224
14.6 Coda . . . 227
14.7 References . . . 229

Revision der Mechanik – Heinrich Hertz als Wegbereiter der Relativitätstheorien
Peter Klein (Hamburg) 233
15.1 Zu 1.: Meßprozess . . . 236
15.2 Zu 2.: Beseitigung des Äthers . . . 237
15.3 Zu 3.: Lorentztransformationen: c als Maximalgeschwindigkeit . . . 241
15.4 Zu 4.: Äquivalenz von Masse und Energie ($E = mc^2$) . . . 241
15.5 Zu 5. und Zu 6.: Äquivalenz träger und schwerer Masse – Massenabhängigkeit der Metrik des Raumes . . . 243
15.6 Schluß . . . 247
15.7 Literatur . . . 247

HEINRICH HERTZ (1857–1894) – LIFE AND IMPACT 251

Die Familie Hertz – eine nichtjüdische Wissenschaftlerfamilie mit jüdischem Namen
Stefan L. Wolff (Munich) 253
16.1 Einleitung . . . 253
16.2 Die Geschichte der Familie Hertz im 18. und 19. Jahrhundert – vor dem Hintergrund der allgemeinen Situation der Juden in Hamburg . . . 255

16.3 Keine nachweisbaren Diskriminierungen von Heinrich Hertz 258
16.4 Die Erinnerung an Heinrich Hertz 258
16.5 Biographische Skizze von Mathilde Hertz 262
16.6 Biographische Skizze von Gustav Hertz 265
16.7 Schlußbetrachtungen 269
16.8 Bibliographie 271

150 Jahre Heinrich Hertz – Ansprache zur Enthüllung der Gedenktafel am Ort des Geburtshauses Poststr. 20
Peter Klein (Hamburg) 275

Hertz on Meteorology
Joachim Pelkowski (Ober-Mörlen) 283
18.1 Introduction 285
18.2 Historical background to Hertz's 1884 meteorological paper 289
18.3 Hertz's thermodynamic diagram 291
18.4 The Karlsruhe inaugural lecture 300
18.5 Concluding remarks 306
18.6 References 307

The Concept of 'Ether' in Hertz's Kiel Lectures and its Meaning for the Concept of Space
Frank Linhard (Frankfurt am Main) 311
19.1 Introduction 311
19.2 Biographical Overview 312
19.3 Hertz in Kiel 312
19.4 The Kiel Lecture 313
19.4.1 Transversal and Longitudinal Waves 315
19.4.2 Action at a Distance and the Propagation of Forces 316
19.4.3 Potential Theory 318
19.4.4 Gedankenexperiment 320
19.4.5 The Electrodynamic Theory of Light 322
19.4.6 Dielectric Polarisation and Inertia 322
19.4.7 Hertz's Dipole 323
19.5 Newton's spirit 325
19.6 Conclusion 328
19.7 References 329

Hertz's dilemma of the different velocities of transmission of electromagnetic waves in air and along wires. Why did he get the results he got?
James G. O'Hara (Hannover) 331
20.1 Introduction 332
20.2 The Hertz-Fitzgerald Correspondence 333
20.3 Hertz's Correspondence with Sarasin and De la Rive 336

20.4 Conclusions . . . 341
20.5 References . . . 344
20.5.1 a) Manuscript Sources . . . 344
20.5.2 b) Printed Sources . . . 344

THE BIRTH OF RADIO – WIRELESS TELEGRAPHY 347

Die Entstehung der Radiotechnik als eine technikwissenschaftliche Disziplin – die Rolle von Ferdinand Braun
Vitaly G. Gorokhov (Moscow, Russia – Karlsruhe) 349
21.1 Einleitung . . . 350
21.2 Heinrich Hertz – der experimentelle Beweis der Maxwellschen Theorie mit den technischen Folgen . . . 351
21.3 Die Verbesserung der Hertz'schen experimentellen Ausrüstung . . . 355
21.4 Die Entstehung der drahtlose Telegraphie (Radiotechnik) . . . 363
21.5 Literatur . . . 373

Nikola Tesla's Contributions to Radio Developments
Aleksandar Marinčič and Zorica Civrič (Belgrade, Serbia) 377
22.1 Introduction . . . 377
22.2 Tesla Coil . . . 378
22.3 Alternate Currents of High Potential and High Frequency . . . 380
22.4 Basic Tesla's radio scheme . . . 382
22.5 Tesla's four tuned circuits . . . 383
22.6 Remote Control by Radio . . . 384
22.7 Colorado Springs Laboratory . . . 389
22.8 Between Colorado Springs and Long Island . . . 389
22.9 Long Island Plant . . . 390
22.10Conclusions . . . 392
22.11References . . . 393

Highlights of amateur radio in the Netherlands to 1926
Richard Strom (Amsterdam, The Netherlands) 397
23.1 Introduction . . . 398
23.2 Roots of amateur radio in the Netherlands . . . 399
23.3 Organization of Dutch radio amateurs after 1910 . . . 403
23.4 Beginnings of commercial radio . . . 405
23.5 References . . . 407

Wilhelm II. und die Funktechnologie
Wolfgang König (Berlin) 409
24.1 Literatur . . . 418

Telegraphy Without Wires – Technical Prerequisites and Economic Significance of the Early Radiotelegraphy
Horst A. Wessel (Düsseldorf) 421
25.1 Bibliographie 439

Das Museum für Kommunikation Hamburg sagt „Ahoi"'!
Oliver Rump (Hamburg) 443

FROM RADAR TECHNOLOGY
TO RADIOASTRONOMY 447

Zur Einführung elektromagnetischer Kommunikations- und Navigations-Verfahren in der deutschen Schifffahrt
Albrecht Sauer (Bremerhaven) 449
27.1 Einführung 449
27.2 Funk und Kommunikation 450
27.3 Funk und Ortung 455
27.3.1 Funkpeilung 455
27.3.2 Telemobiloskop 457
27.4 Funk und Praxis 458
27.4.1 Peilfunk 462
27.5 Literatur 464

Ir A. H. de Voogt's Pioneering Role as Radio Amateur and Astronomer
Richard Strom (Amsterdam, The Netherlands) 467
28.1 Introduction 468
28.2 Family background and childhood 468
28.3 Formative years: radio and education 470
28.3.1 The first radio station: VO 470
28.3.2 Higher education and a radio activist 473
28.4 Founding of the *NVVR*, working years to 1945 476
28.4.1 The Society for Radio Telegraphy 476
28.4.2 Professional career and private life, 1919–1930 479
28.4.3 Career, 1930–1945 481
28.5 Post-war: the radio astronomy years 482
28.5.1 The early initiatives 483
28.5.2 Purveyor of radio telescopes 486
28.5.3 Sun and ionosphere 488
28.5.4 The battle against radio interference 491
28.6 Later years, his achievements and legacy 493
28.7 Appendix I: the De Voogt family 494
28.8 Appendix II: the Doorman family 497
28.9 References 498

From Würzburg Giant to the Giant Telescope – Development of Radio Astronomy in Germany until 1970
Gudrun Wolfschmidt (Hamburg) 503
29.1 Radio waves from space . . . 504
29.2 American, British and German Pioneers of radio astronomy . . . 504
29.3 The rise of radio astronomy after the War . . . 506
29.4 Starting points of radio astronomy in Germany . . . 506
29.5 The Stockert Radiotelescope – the first successful German endeavour . . 509
29.6 Effelsberg – the development towards the giant telescope . . . 513
29.7 Conclusion . . . 514
29.8 References . . . 515

Stellar music – detecting cosmic acoustic signals by electromagnetic waves
Zoltán Kolláth (Budapest, Hungary) 517
30.1 Introduction . . . 517
30.2 Parallels: Pulsating stars and musical instruments . . . 519
30.3 Virtual stellar musical instruments . . . 522
30.4 Conclusion . . . 525
30.5 References . . . 526

DEVELOPMENT OF COMMUNICATION TECHNOLOGY: TUBE – DIGITAL 529

Das Thereminvox. Zur wechselvollen Karriere eines elektronischen Musikinstruments
Hans-Joachim Braun (Hamburg) 531
31.1 Bibliography . . . 537

Das Heinrich-Hertz-Institut und die Pionierzeit der „Elektrischen Musik“ in Berlin
Peter Donhauser (Vienna) 539
32.1 Pionierzeit der „Elektrischen Musik“ . . . 539
32.2 Zwei neue Institute in Berlin . . . 540
32.3 Die Arbeit an „Elektrischen Instrumenten“ am Heinrich-Hertz-Institut . . 542
32.4 Die Berliner Funkausstellung 1931 . . . 544
32.5 Vierlings „Elektrochord“ . . . 544
32.6 Die Entwicklung ab 1933 . . . 553
32.7 Die „KdF Großtonorgel“ . . . 554
32.8 Beschallung von Massenveranstaltungen . . . 558
32.9 Arbeit abseits der Öffentlichkeit: Harald Bode . . . 560
32.10Das Ende der Entwicklung elektronischer Instrumente am HHI . . . 560

Development of electronic tubes
Joachim Goerth (Hamburg) 563
33.1 Technical Function . . . 563
33.2 The Predecessors . . . 564

33.3 The "Radio"- or Amplifying Tube . . . 565
33.4 Other Tubes . . . 572
33.5 References . . . 574

Mathematics – for improving the construction of valves
Renate Tobies (Braunschweig) 577
34.1 Valve Development . . . 578
34.2 Mathematics and Valve Development . . . 578
34.3 Osram and Telefunken, and the Use of Mathematical Methods . . . 580
34.4 Iris Runge's and Carl Runge's Thought Collectives . . . 583
34.5 Iris Runge's Mathematical Treatment of Valve Problems . . . 585
34.5.1 Use of Statistical Methods . . . 585
34.5.2 Calculation of Valve Characteristics . . . 586
34.6 Conclusions . . . 592
34.7 Bibliography . . . 594

Society on the move: The success story of the mobile phone
Erika Linz (Köln and Bonn-Aachen) 601
35.1 The diffusion of the mobile phone . . . 602
35.2 From mobility to constant connectivity . . . 604
35.3 Social and communicative impacts of mobile communication technology . 607
35.3.1 The expansion of the private sphere: "ambulant privacy" and "nomadic intimacy" . . . 607
35.3.2 The emergence of new communication rituals and routines . . . 608
35.3.3 The softening of time scheduling . . . 610
35.3.4 The creation of instant communities of interest . . . 611
35.4 "Perhaps it is a body part" – The mobile phone as a cyborg technology . 612
35.5 References . . . 613

Programme – Heinrich Hertz and the Development of Communication
Gudrun Wolfschmidt (Hamburg) 617

List of Figures 626

Authors 635

Nuncius Hamburgensis 655

Index 659

Figure 0.2:
Experimental lecture by Peter Heering
during the opening of the Hertz Symposium, October 2007

Preface: Heinrich Hertz and the Development of Communication

First of all I would like to thank for the generous support of the Hertz-Symposium by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) and by the Behörde für Wissenschaft und Forschung (BWF) Hamburg. Then I appreciate the help and advice of Roger Stuewer in organising and planning the symposium, which should bring together different scholars interested in Hertz, in his philosophy of science, his achievements in physics and the impact of his discovery of electromagnetic waves, the development of communication technology (beginnings of radio, radar, radio astronomy, electronic music and mobile phone). I am glad that nearly all, who participated during the symposium, have contributed to the book.[1]

In Hamburg there are some places connected with the life and social impact of Heinrich Hertz: The birthplace (Poststraße 20, D-20354 Hamburg), where a memorial tablet of the „Patriotische Gesellschaft" was fixed October 8, 2007, the house, where he lived during his youth (Magdalenenstraße 3, Hamburg-Rotherbaum), the family grave (Ohlsdorf Cemetery Q 25, 1–6), a portrait medaillon in the entrance hall of Hamburg's Town Hall, a sculpture "airwave" in Eichenpark near Alster shore, made by the jewish artist Friedrich Wield (1880–1940) in 1931/33. Apart from a Heinrich Hertz street there are three buildings named after Hertz: the Heinrich-Hertz TV tower, the former Heinrich-Hertz-School ("Reform-Realgymnasium"): Architect Albert Erbe, 1908 (Bundesstr. 58, D-20146 Hamburg), and the Heinrich-Hertz-Schule (Grasweg 72–76, D-22303 Hamburg).

There were more activities in connection with Hertz' 150th birthday, especially an exhibition with the title "Von Hertz zum Handy – Entwicklung der Kommunikationstechnik" was shown in five different places in Hamburg and Wittenberg;[2] in addition a catalogue was published in 2007.[3] Another event, organised by Gudrun Wolfschmidt, was meeting of the Arbeitskreis Astronomiegeschichte (Working Group for History of Astronomy) in the Astronomische Gesellschaft, held in the Institute for Theoretical Physics and Astrophysics, Würzburg University, September 23 to 24, 2007, with the topic: "Astronomy in new wavelengths – historical studies".[4]

---

[1] In addition a DVD about the symposium is published: Handwerk, Agnes und Harrie Willems: *Allein mit der Natur. Heinrich Hertz – Experiment und Theorie.* Hamburg 2008. A biography of Heinrich Hertz is prepared for the *IWF Wissen und Medien gGmbH* in Göttingen.

[2] `http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/events/hertz-exh.htm`.

[3] Wolfschmidt, Gudrun (ed.): Von Hertz zum Handy – Entwicklung der Kommunikationstechnik. Katalog zur Ausstellung zum 150. Geburtstag von Heinrich Hertz (1857–1894). Norderstedt: Books on Demand (Nuncius Hamburgensis, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften, Bd. 6) 2007 (360 pages).

[4] Short Contributions are published in *Astronomische Nachrichten* **328** (2007), No. 7.
`http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/events/wuerzburg07.htm`
A book about the meeting, edited by Gudrun Wolfschmidt is in preparation.
`http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/research/nuncius.htm#12`.

Figure 0.3:
Words of welcome by Staatsrat Dr. Roland Salchow
in Hamburg's City Hall during the Hertz Symposium, October 2007

Photo: Gudrun Wolfschmidt

Welcome address – Town hall reception on the occasion of the "Heinrich-Hertz-Symposium – 150 Jahre Heinrich Hertz"

Staatsrat Dr. Roland Salchow,
Behörde für Wissenschaft und Forschung Hamburg (BWF)
(State Secretary of the Ministry of Science and Research)

Prof. Wolfschmidt (Institute for the History of Science),
Prof. Stuewer (Scientific committee)
Ladies and Gentleman,

the Senate of the Free and Hanseatic City of Hamburg welcomes you in Hamburg and here in the Town Hall. You are here to participate in the *"Heinrich-Hertz-Symposium"* and you will be looking at Heinrich Hertz from different perspectives, as physicists, historians, philosophers, astronomers, mathematicians and communication experts. Hamburg is happy to be the venue for this symposium commemorating a great son of our city. By the way: a son of someone being active in the Hamburg City Hall, his father Gustav Hertz had been a senator of Hamburg.

As State Secretary for Science and Research it's my pleasure to see the title "Heinrich Hertz and the development of communication". Today Information and Communication Technology matters more than ever; data exchange has become so fast and distances between countries and cities so short! So I can phone my son in California every moment; and he is able to watch the German *Tagesschau* news. Economic news speed around the world and nervous people elsewhere make use of it. Although that may turn a local snowball into a global ávalanche. We follow that what happens in great distance, in Asia, Africa or other difficult places. As well as in other strange places in the world, where inhuman despots impose unfreedom on people. But the evil is perceived by way of communication techniques. Pictures spread over the world. And that might have influence on history and reduce these evil events.

The topics of the symposium are interesting. Prof. Wolfschmidt sent me the program, with some abstracts. Application of electromagnetic waves in Astronomy, in Radar Technology, in Communication Technology.

There will be the discussion on the relation of Heinrich Hertz to Wittgenstein, resulting from Hertz' *"Principles of Mechanics"* – Dr. Preston taking that relationship to be one of *creative misappropriation*. Hertz tried to inject the classical mechanics Galilei principle of relativity into electrodynamics. So he touched on problems and ideas that later became the *starting point* for Einstein. And he had been pondering a possible distinction between inertia and mass (*träge and schwere Masse*). The paper shows how Einstein and Hertz had been treating differently the asymmetry between electric and magnetic forces in the Maxwell equations. Colleagues from Haifa will be explaining that Hertz worked with *mathematical manipulations*, and Einstein with *physical arguments*.

And Robert Klanner, a leading university physicist working at the DESY, on electromagnetism vs. electrodynamics. DESY belongs to the German Helmholtz community – and it comes to my mind that Hertz in Berlin came under the influence of Helmholtz, he was his assistant. Dr. Wiederkehr will point out that Helmholtz regarded cathode rays as wave events in the ether; so for Hertz these rays had nothing to do with the electric discharge: – the éther as a quintessence of 19^{th} century physics – trial and error in physics. We are only 20 years before the ether died – and died from Einstein.

Heinrich Hertz was born in Hamburg in 1857 – 150 years ago. This afternoon the Patriotic Society in Hamburg fixed a medal at the house of his birth. After a short life elsewhere he was buried in Hamburg. Hamburg's television tower is named after him.

Heinrich Hertz explored electric oscillations and detected propagating electromagnetic waves. And he stated that these waves move with the speed of light and show reflexion, refraction and polarisation – as light. So Hertz confirmed what Maxwell had expected – that electromagnetic and light waves are of the same nature. The Hertz' waves then became the fundament for wireless transmission, basis for our the communication and media world of today. Symbolized in using "Hertz" (Hz) since 1935 as unit for oscillations per second. Later Heinrich Hertz was victim of the Deutsche Physik, in the NS years his name had to disappear, because of his Jewish family. Bad times.

That requires to mention Philipp Lenard, a German physicist 1862–1947. Hertz in 1887 had detected the photoelectric effect (ultraviolet light on a metal sets electrons free). And 1892 he was investigating cathode rays passing through thin metal layers. And asked his assistant Lenard to work on that further. Lenard was a successful physicist. Noble Prize in 1905 for the photoelectric effect. By the way: that was the year Einstein published the special theory of relativity.

But it is a difficult relation between Heinrich Hertz – Philipp Lenard – Albert Einstein. It was Lenard who was an important representative of the "Deutsche Physik" group ("Scientists for pure Science"); they aggressively attacked the theory of relativity and the quantum theory, with that attacking Einstein. At first they had their disputes on the scientific level, but in 1920 this group declared Einstein's work as *misleading the public*. Einstein then ignored Lenard as superficial. The final break between the Nobel prize winners came after Lenard declared it to be a mistake to have discussed with Einstein at all, as Einstein was a *Jew*, and not *Aryan*. Lenard was active in launching antisemitic attacks against Einstein, in the Weimar Republic years. And for Hertz he liked to distinguish, as Klanner told me, between a *Jewish* and an *Aryan* phase.

History, but not too far. As here, in the City Hall of Hamburg. Although Hertz was born in Hamburg, went to school here, he couldn't see the City Hall. This hall was built 1895, built as a copy of the old hall that had been victim to the big Hamburg fire 1843. In these rooms important men and women have been guests of the Hamburg Senate and the City. Kings, Queen Elizabeth, the Shah of Persia, de Gaulle to Breshnew. I myself remember Gorbatschev, I talked to Mr. Putin here and to China's President Yang Zemin. But also: Adolf Hitler was here, talking to the people in 1934. History, positive aspects, negative aspects.

You can smell in the hall the prosperity the city had, resulting from a long trading and maritime history – more than 800 years, important member of the Hanse Union. Many companies from abroad have their residence here. Along with that go international relations; China is one focus. Last year we celebrated the China Time festivity, with the Chinese prime minister participating.

Hamburg is 2nd largest city in Germany, with 2 Mio inhabitants in the metropolitan area. Hamburg is reported to be the most successful job machine in Germany, as seen in the job growth rate.

The maritime leg is still stable; Hamburg now has the 2nd largest port in Europe. We are visited by many long class container ships. And we are visited from time to time by the Queen Mary II, largest passenger ship in the world; or the ship Queen Elizabeth.

In former decades Hamburg was a center for shipbuilding. In 1912, the then world's largest ship was built here, German Emporer Wilhelm II. gave her the name "Imperator". As a child I witnessed in our harbour the launch of huge tankers for the Onassis company.

Nowadays we build aeroplanes. With the development of the A 380 Airbus, the largest plane in the world, Hamburg emphasizes its competence in aviation technology – top 3 in the world.

In my role as State Secretary for Science I like to indicate that we have in Hamburg quite a number of academic institutions; state and private colleges of higher education as well as a number of first class research institutes are here. Biggest is the university, they organized this seminar. Besides that a number of scientific institutes are located here. For example in the field of structural biology, including the EMBL; they are making use of the synchrotron radiation of DESY, a leading particle accelerator in the world. Synchroton radiation results from Maxwell equations, too.

DESY has been active in the field of high-energy physics, matter – antimatter relations, what is a proton, they discovered the gluon. DESY is now changing the objective to make use of the radiation in the field of nanotechnology, life-sciences, structural biology. 1200 scientists from all over the world work there. The new objective is obvious by implementing a new DESY technology, the so called Free Electron Laser, a machine driving electrons in supraconducting cavities through a strange slalom runway urging them to emit synchrotron radiation of unprecedented intensity and in unbelievably short pulses (nanoseconds). Thus atomic processes may become visible. Russia, France, thte UK, Sweden, Poland and others are cooperating partners.

Another big point in Hamburg is climate and marine research. We are aware of the impacts of the climate change. Hamburgs activities in the climate, marine and environmental field are numerous. The data collection under the UN climate ocean program was performed in the maritime agency here, as well as in the German Climate Computer Centre. Also involved is the *Center for marine and atmospheric sciences*, one of the five worldwide leading climate research centres, in cooperation with the Max-Planck-Institute for Meteorology. The institute proves that the temperature effects we are observing do not correlate with the sun activities but with the anthropogenic activities. The UN IPCC took these data on board.

Hamburg is the first German Federal State having decided to undergo a climate program reducing the carbon dioxide-output by 20–25% in the coming years. In Germany the federal states can decide these and other issues on their own.

You will find your own impressions of the diversity of Hamburg's theatre, art, and the music scene at the opera and the music hall. I could mention that Brahms was born here, same with Mendelssohn, Gustav Mahler was a conductor at the opera around 1900, Händel had to flee from Hamburg because of trouble he had with the opera house director on who was allowed to play the cembalo. Tschaikowsky enjoyed staying here several times (letter from Tschaikowsky to his father). And: the Beatles started their career down there. All that music can be listened to via wireless broadcasting.

The world of science in Hamburg I have described. But in Hamburg we care not only for the *outside* world as at universities; near the river Elbe – there is also the demi-monde of St. Pauli. In the Reeperbahn you may do some studies on wireless communication.

And if you go just 1 km further, you may find, at least if you believe Jules Verne, the house of the scientists planning the "Journey to the Centre of the Earth", here they detected the location of the entrance to the *Inner* Earth.

Let me, in the end, express the Senate's thanks to those who organized the symposium, those who contribute and who participate. In the main: Mme Wolfschmidt, she is a professor in the Institute for the History of Science, a part of the Hamburg University. The development of the natural sciences takes place in interaction with the historical context and is therefore dependent upon the "Zeitgeist" (spirit of the time). The history of natural sciences investigates and records these interactions.

Figure 0.4:
Welcome address by Prof. Dr. Arno Frühwald,
Dean of Faculty of Mathematics, Informatics and Natural Sciences,
Hamburg University, during the Hertz Symposium, October 2007

Photo: Gudrun Wolfschmidt

Figure 0.5:
Closing remarks of Roger H. Stuewer (Minneapolis, MN, USA)
during the Hertz Symposium, October 2007, in the Museum for Communication Hamburg
Photo: Gudrun Wolfschmidt

Introduction

Roger H. Stuewer (Minneapolis, MN, USA)

Heinrich Hertz was born in Hamburg 150 years ago, on February 22, 1857.[5] Peter Klein, speaking when a commemorative plaque was unveiled on the house where he was born at Poststraße 20, gave an informative account of Hertz's early life and education. Jens Struckmeier later discussed aspects of Hertz's contributions to, and influence in mathematics, as did Robert Klanner in physics.

Stefan Wolff describes Hertz's assimilated Jewish family, noting that his Jewish ancestry was no impediment to him personally in his own life, education, and work, but that decades later, during the Nazi period in Germany, it caused him to be disowned by his fatherland and by his anti-Semitic student Philipp Lenard. It also impelled his two physician daughters and their mother to emigrate to England in the middle of the 1930s, while his Nobel Laureate nephew Gustav Hertz was able to remain in Berlin as a research physicist at Siemens.

After passing the *Abitur* at the Johanneum Gymnasium in 1875 at the age of 18, Hertz studied in Frankfurt and Dresden, completed a year of compulsory military service in Berlin, resumed his studies in Munich, and then transferred to Berlin in 1878, where Hermann Helmholtz took him under his wing and, as Karl-Heinrich Wiederkehr emphasizes, strongly influenced him positively, both in opposing Wilhelm Weber's and Franz Neumann's action-at-a-distance electrodynamics and in supporting Michael Faraday's and James Clerk Maxwell's field theory, but also negatively in accepting the current wave theory of cathode rays, which J. J. Thomson disproved experimentally three years after Hertz's death.

Hertz received his doctoral degree *magna cum laude* in 1880 and remained in Berlin as Helmholtz's assistant for another three years before being appointed as *außerordentlicher Professor* at the University of Kiel in 1883. Joachim Pelkowski sets into historical context a little-appreciated aspect of Hertz's work in Kiel, namely, his introduction in 1884 of the first meteorological diagram describing the possible thermodynamical adiabatic states of moist air, which was later enshrined in textbooks, and which together with his 1885

[5] Adapted from closing remarks at the International Symposium for History of Science on Heinrich Hertz (1857–1894) and the Development of Communication, Hamburg, Germany, October 8–12, 2007, which was organized by Gudrun Wolfschmidt and supported financially by the Deutsche Forschungsgemeinschaft and the Behörde für Wissenschaft und Forschung Hamburg.

inaugural lecture on the energy budget of the earth, illustrates Hertz's deep interest in meteorological processes.

More well known is Hertz's remarkable 1884 paper in which, as Giora Hon and Bernard R. Goldstein emphasize, Hertz demonstrated the validity of Maxwell's equations by ignoring the ether and by mathematically or formally eliminating the asymmetry between the electric and magnetic forces, making the two interchangeable, while two decades later Albert Einstein removed the asymmetry by physical arguments, making the two indistinguishable. Frank Linhard completes the picture by analyzing Hertz's popular lectures at Kiel on the *Constitution of Matter* in 1884, focusing particularly on his conception of the ether – as absolutely homogeneous and empty space in which light consists of dielectric oscillations in it – and its connection to his concept of space.

In 1885, at the age of 28, Hertz left Kiel to become *ordentlicher Professor* at the *Technische Hochschule* in Karlsruhe, where he had superb experimental facilities and finally could attempt to fulfill his mentor Helmholtz's charge to confirm Maxwell's electromagnetic field theory. Essential to Hertz's work, as Frank Dittmann discusses, was Heinrich Daniel Rühmkorff's invention of his eponymous high-voltage induction coil in 1851, which subsequently was used ubiquitously in numerous and diverse laboratory experiments, including Hertz's. Further, Martin Henke points out that the German Berend Wilhelm Feddersen carried out a sophisticated experiment as early as 1862 showing that under certain conditions the electrical discharge of a Leiden jar oscillates. Moreover, following an article in a Kiel newspaper in December 1909 that gave Hertz priority as the founder of wireless communication, Feddersen challenged Hertz's priority, arguing that this credit should go to the Frenchman Édouard Branly, the Italian Guglielmo Marconi, and of course himself-an argument that Feddersen ultimately lost.

Regarding Hertz's experiments in Karlsruhe, Peter Heering sets the stage by discussing and illustrating many impressive 18th-century experiments on static electricity, including the ever-popular and literally shocking human electrical kiss and electrical chain. Roland Wittje and Wolfgang Engels bring Hertz's brilliant experiments home by discussing how Hertz's apparatus looked, sounded, and smelled, and what they learned about Hertz's work and in general about experimental practice in late 19^{th}-century Germany while replicating and operating it. Martin Wegener also discusses Hertz's famous 1887 experiments in which he proved the existence of Maxwell's electromagnetic waves, investigated their behavior, and along the way discovered the photoelectric effect. Finally, James G. O'Hara describes Hertz's 1888 experiment in which he found that the velocity of electromagnetic waves in air is greater than in a wire, a disturbing result in conflict with Maxwell's theory which, however, G. F. FitzGerald and his associates in Dublin confirmed, but Lucien de La Rive and Édouard Sarasin in Geneva disconfirmed and thus confirmed Maxwell's theory-results that still today are not understood thoroughly and in detail.

In 1889 Hertz left Karlsruhe to become *ordentlicher Professor* of Physics at the University of Bonn, where less than five years later he died on January 1, 1894, at the age of 36. His last work was his book, *Principles of Mechanics*, which was published

posthumously with an introduction by his treacherous student Lenard and a foreword by his beloved and esteemed mentor Helmholtz, who himself would die that September at the age of 73. Jesper Lützen analyzes Hertz's mechanics, as presented in his book, in terms of his high-dimensional non-Euclidian geometry of systems of points, showing how he could claim at the same time that space is *a priori* three-dimensional and Euclidian.

Turning to Hertz's philosophy of science, Gregor Schiemann traces the development of Hertz's views on the nature of physical theories, which were deeply influenced by his teacher Helmholtz, and which culminated in Hertz's recognition that a variety of *Bilder* or theories can account for a given physical phenomenon, so that to decide among them additional criteria have to be invoked, namely, their correctness, permissibility, and appropriateness. Claus Peter Ortlieb turns to Hertz's concept of a mathematical model, and Alfred Nordmann shows how Hertz abandoned philology, struggled against a positivistic stance, and came to recognize that the most important philosophical result of his experiments was that electromagnetic waves propagate in time and not instantaneously. Indeed, Peter Klein argues that Hertz to a large extent conceived Einstein's later program of demonstrating the fundamental insufficiency of classical mechanics, and had Hertz lived longer he himself might have conceived the special theory of relativity.

Hertz's philosophy of science, as expressed in his *Principles of Mechanics*, exerted great influence. John Preston argues that Hertz's philosophy can be characterized best as epistemically anti-realist but semantically realist, and that Ludwig Wittgenstein's instrumentalism, as expressed in his *Tractatus*, involved the creative misappropriation of Hertz's philosophy. Allan Janik, however, identifies as Hertz's crucial influence on Wittgenstein Hertz's revealing the linguistic roots of metaphysical problems, leading Wittgenstein to claim-for reasons that Janik explicates in detail-that he, Wittgenstein, understood Hertz's philosophy better than Hertz himself did. Further, Rudolf Seising argues that Wittgenstein's concept of *Bild* or picture, as influenced by Hertz, served as the starting point for interpretations of the relationship between real physical systems and theoretical mathematical structures, a gap that Lotfi A. Zadeh bridged in the 1960s with his theory of fuzzy sets and systems, which was later expanded to handle concepts and human perceptions with unsharp boundaries.

Hertz's confirmation of Maxwell's electromagnetic theory-his experimental proof of the existence of Maxwell's electromagnetic waves-had profound consequences for later developments in science and technology. Vitaly G. Gorokhov emphasizes the central role that Ferdinand Braun played in understanding wireless telegraphy theoretically, and in developing it practically through his invention of the crystal detector, a melding of theory and practice that Braun institutionalized as technical physics at Straßburg after 1895, and that was later adopted in Russia by Leonid Mandelstam and Nikolaus Papalexi, both of whom had studied and worked with Braun in Straßburg. Aleksandar Marinčič and Zorica Civrič discuss Nikola Tesla's life and work, especially his production of high-frequency alternating currents following the invention of his eponymous induction coil in 1891, and his later invention and use of four tuned circuits in transmitting wireless radio signals-an invention that Marconi alleged had infringed his 1904 patent, but which

claim was invalidated by the U. S. Supreme Court in 1943. Oliver Rump brings much of this and other work home by offering an informative overview of the multifaceted history of human communication on land, on sea, and in the air.

In this connection, Albrecht Sauer concentrates on the far-reaching influence of Hertz's work on German shipping, discussing in historical context the increasingly sophisticated apparatus by which electromagnetic waves were used in wireless ship-to-shore communication to determine the positions of ships at sea, even in inclement weather. Horst A. Wessel discusses the history of various modes of communication beginning in antiquity and then turns to the technical and economic aspects of the communication network that was developed for the transmission of electromagnetic signals and messages by wireless telegraphy between stations on land, especially in Germany, and ships at sea. And Wolfgang König points out that Kaiser Wilhelm II embraced and promoted the use of radio technology in 1897-1903, both on his yacht *Hohenzollern* and on ships in the Imperial navy, owing to his egomania, but also in an unsuccessful attempt to establish long-term policies for German technology and industry.

Turning specifically to radio, Richard Strom discusses Marconi's work and then turns to the origin and development of amateur radio in The Netherlands before World War I, beginning with the pioneering contributions of Jan Corver, who was politically astute and well-connected, and Anthonet Hugo de Voogt in founding the Dutch amateur Society for Meteorology and Astronomy in 1916, which was instrumental in lifting the legal ban on amateur radio operators in 1919, and which in turn enabled the not-so-good businessman H. Steringa Idzerda to broadcast his weekly *Radio Soirée-musicale* programs after the war until he became bankrupt in 1924. Joachim Goerth focuses on the nature and production of electronic tubes, beginning with X-ray and other tubes in the late 19th century and continuing into the 1930s, when vast numbers of a great variety of radio tubes, some of which were repairable and multipurpose, were manufactured in the United States and Europe, an industry that finally died out in the early 1970s as they were replaced by transistors. Renate Tobies shows how mathematical analysis became essential in the 1920s for designing ever-better and reproducible vacuum tubes at Bell Labs in America and in industrial concerns in Germany, emphasizing in particular the life and pioneering theoretical contributions of Iris Runge at the Osram and Telefunken research laboratories from 1923 to 1945.

Even though Hertz himself was known to be totally unmusical, he would not have failed to appreciate the beautiful and moving pieces presented at the symposium by the Chorus of the Electron-Synchrotron Hamburg under the direction of Axel Schaffran. Nor would Hertz have been surprised to learn that his work influenced musical technology. Hans-Joachim Braun discusses the fascinating history of the theremin – a difficult and sensitive musical instrument to play and master, but one that recently has experienced something of a revival in pop music and jazz. And Peter Donhauser traces especially the work of Oskar Vierling at the *Heinrich-Hertz-Institute für Schwingungsforschung* in Berlin between 1928 and 1938 in developing electrical musical instruments, culminating in the Electrochord *Flügel* and the electronic *Kraft durch Freude Großtonorgel* in 1936.

Nowhere, however, was the influence of Hertz's work greater than on the development of radio astronomy after World War II. Richard Strom discusses the fascinating life and work of Anthonet Hugo de Voogt, a modest radio amateur and engineer in the Dutch Post Office Service who became head of the Breda telephone district in 1939 and immediately after the war promoted research in radio astronomy, in particular by providing equipment that enabled Jan Oort and his group to search for the crucially important 21-centimeter line of hydrogen, which was used to map the Milky Way. Gudrun Wolfschmidt traces the prewar and postwar development of radio astronomy, first in other countries and then in Germany, beginning with the establishment of four major centers in the early 1950s, in Kiel, Freiburg, Berlin-Adlershof, and Potsdam, which made many significant discoveries, and which stimulated the development of radio telescopes with ever-larger antennas, culminating in the 100-meter-diameter one near Effelsberg for the Max Planck Institute for Radio Astronomy in Bonn, which until the year 2000 was the largest fully steerable radio telescope in the world. In another fascinating astrophysical development, Zoltán Kolláth shows how electromagnetic waves can be modulated by acoustic signals emanating from distant pulsating stars, enabling us to literally hear the Music of the Spheres and thus deepen our knowledge of stellar structure.

Finally, Erika Linz sketches the history and extraordinary success of the now-ubiquitous mobile or cell phone, an invention that has found numerous uses in all walks of life, both legal and illegal, but also one that some have come to dislike heartily when used in public places like airport lounges or in private places like cars moving at high speeds.

In sum, the traces of Heinrich Hertz's life and pioneering contributions are everywhere around us today, and it was heartwarming and most appropriate that they were commemorated and celebrated in Hamburg, the city of his birth, and are now described in this fascinating volume.

Figure 0.6:
Heinrich Hertz (1857–1894)

HEINRICH HERTZ (1857–1894) – PHILOSOPHY OF SCIENCE

Figure 1.1:
Hermann von Helmholtz (1821–1894)
http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/people/data?id=per87

Verlust der Welt im Bild: Ursprung und Entwicklung des Bildbegriffes bei Hermann von Helmholtz und Heinrich Hertz

Gregor Schiemann (Wuppertal)

Abstract: The Loss of World in the Image: Origin and Development of the Concept of Image in the Thought of Hermann von Helmholtz and Heinrich Hertz

Helmholtz initially ascribes even more to theoretical knowledge than merely that it is a picture of the world: it penetrates even to the unobservable causes of the phenomena, which he conceived throughout his career as matter set mechanically in motion. The introduction of the picture-concept in the 1860s to characterize scientific theories marks the beginning of the loss of a direct connection with the world. Theories now constitute only a representation of a law-like structure of the world, but no longer shed light on the objects themselves. Beginning in the 1870s, this knowledge of laws takes on an increasingly hypothetical character.

In the case of Hertz, it is no longer laws of nature but only the predictions derived from them that constitute the only remaining correspondence between scientific theories and the world – and even that is only provisional. This yields a variety of theories that relativizes the validity of any one theory – a notion that would have been inconceivable to Helmholtz. While thought for Helmholtz is subordinate to unambiguously given experience, for Hertz it is bound only by its own formal laws. But since Hertz was no less interested in a unified mechanistic theory than Helmholtz, he was at pains to drastically constrain the variety of theories with the help of additional criteria.

Sucht man in der Physikgeschichte nach Ursprüngen heutiger Wissenschaftsauffassung, so stößt man auf ein bemerkenswertes Phänomen: Die für die Gegenwart typische Relativierung der Geltung theoretischer Erkenntnisansprüche wurde historisch maßgeblich von Vertretern einer Naturauffassung befördert, die heute in keiner Weise mehr als

typisch gelten kann – von Vertretern des Mechanismus, deren Ziel es war, die Naturphänomene als Wirkung mechanisch bewegter Materie zu erklären.[1]

Hermann von Helmholtz und sein Schüler Heinrich Hertz waren zwei dieser Vertreter, die ganz entscheidend zur Modernisierung der Wissenschaftsauffassung beigetragen haben. Paradigmatisch für ihren gemeinsamen Anteil an dieser Entwicklung ist die auf sie zurückgehende wissenschaftstheoretische Verwendung des Bildbegriffes. Am Ursprung und an den unterschiedlichen Bedeutungen dieses Begriffes lässt sich eine Linie nachzeichnen, die vom Alleinvertretungsanspruch einer universell und ewig gültigen Theorie, wie Helmholtz ihn zunächst vertritt, über die Einsicht in den revisionsfähigen Status wissenschaftlicher Erkenntnis bis hin zum Eingeständnis von Hertz führt, daß zumindest zeitweise eine Vielfalt von Theorien eines Gegenstandsbereiches möglich sei.[2]

1.1 Bildhaftes im Zeichen. Elemente von Helmholtz' Wissenschaftsauffassung bis etwa zum Beginn der 70er Jahre

Helmholtz hat zeitlebens eine empirische Wissenschaftsauffassung vertreten. Demnach gewinnen die Wissenschaften ihre Erkenntnisse, indem sie besondere Erfahrungen durch induktive Verfahren verallgemeinern. Dies ist der Rahmen, in dem Helmholtz im Verlauf der 60er Jahre des vergangenen Jahrhunderts beginnt, das Gesetzeswissen der Naturforschung mit dem Bildbegriff zu charakterisieren.[3] Vor dieser Zeit traut Helmholtz wissenschaftlichen Theorien weitaus mehr zu, als nur ein Bild von der Welt zu geben. Seinen frühen wissenschaftlichen und populären Vorträgen kann man entnehmen, daß die theoretische Naturforschung nicht nur die empirischen Gesetzmäßigkeiten erfasse, sondern auch die substantiellen Ursachen entdecke, die die Erscheinungen bewirken und die nach Helmholtz vollständig mechanisch bestimmt sind.[4] Während der Bildbegriff immer schon eine Distanz zwischen Darstellung und Dargestelltem beinhaltet,[5] dringen beim frühen Helmholtz wissenschaftliche Theorien gleichsam in ihre Gegenstände ein,

[1] Der vorliegende Text ist die leicht erweiterte und überarbeitete Übersetzung von Schiemann (1998). Ich danke Philip Flock für seine Hilfe bei der redaktionellen Bearbeitung des Textes.

[2] Der Ursprung und die erste Entwicklung dieses Begriffes ist vor allem durch die zahlreichen Vorträge, in denen sich Helmholtz zu den Aufgaben und Methoden der Wissenschaft geäußert hat (gesammelt in Helmholtz (1884a)), sowie durch die beiden Auflagen seines „Handbuches der physiologischen Optik" (Helmholtz (1856 ff.) und (1885 ff.)) dokumentiert. Hertz hat seine Auffassung zum Bildbegriff in der berühmten Einleitung zu seinen „Prinzipien der Mechanik" dargelegt (Hertz (1894). Zum Vergleich des Bildbegriffes bei Helmholtz und Hertz siehe Majer (1985).

[3] Zu Helmholtz' Wissenschaftsauffassung siehe Cahan (1993b) und Schiemann (1997), Kap. B.II.3 und Kap. B.III. Aus Helmholtz' Sicht ist die Induktion eine Methode, allgemeine Gesetze aus besonderen Erfahrungen abzuleiten. Es ist die Grundlage für die Entdeckung und Rechtfertigung von Naturgesetzen (vgl. Helmholtz (1862), S. 169 ff.; Helmholtz (1892), S. 338 ff.; Helmholtz (1856 ff.), S. 447 f.).

[4] Helmholtz (1847), S. 4 f., Helmholtz (1852), S. 608 f., Helmholtz (1853), S. 40 f. und 45.

[5] Zur Bildtheorie der deutschen Philosophie im 19. Jahrhundert siehe Schlüter/Hogrebe (1971 ff.).

erkunden ihre innere Struktur, wie Sonden Einblicke in nie gesehene Welten gestatten, und sind deshalb in objektivem Sinn wahr.[6]

Helmholtz setzt diese Objektivität anfänglich in strikten Gegensatz zum bloß subjektiven Zeugnis der Sinneswahrnehmung, die keinen unmittelbaren Zugang zur Wirklichkeit habe, sondern in der psychologischen Verarbeitung von Empfindungen bestehe. Die Eigenart der Empfindungen sei ausschließlich durch die Beschaffenheit der Sinnesorgane bestimmt, deren spezifische Erregung durch äußere Reize nur ausgelöst werde. Weil die Empfindungen keinerlei Ähnlichkeit mit diesen Reizen haben, bezeichnet er sie ebenso wie die Wahrnehmungen, die sie hervorrufen, als „Zeichen“ oder auch als „Symbole“.[7]

Mit dem Ausdruck „Zeichen“ hebt Helmholtz auf eine bestimmte Analogie ab: Er vergleicht die Empfindungen mit den Zeichen der Schrift. Damit will er zum Ausdruck bringen, daß innere Empfindungen mit der Außenwelt so wenig gemeinsam haben wie beispielsweise der Name eines Menschen mit dem Menschen selbst.[8] Doch die Analogie hat ihre Grenzen. Während ein Name durchaus für verschiedene Menschen oder Gegenstände Verwendung finden kann, genügt das Empfindungszeichen einer eineindeutigen Zuordnung: Einem Empfindungszeichen soll immer höchstens ein Relatum entsprechen: Empfindungen

> *„sind nur Symbole für Verhältnisse der Wirklichkeit* [...]. *Sie benachrichtigen uns durch die Gleichheit oder Ungleichheit ihrer Erscheinung davon, ob wir es mit denselben oder anderen Gegenständen und Eigenschaften der Wirklichkeit zu thun haben* [...]. *Weiter leisten sie aber auch nichts.“*[9]

Ungeachtet ihrer wissenschaftlich kaum verwertbaren Leistungsfähigkeit, sind die Zeichen so eng mit der Wirklichkeit verbunden, daß sie mit den realen Gegenständen und deren Eigenschaften selbst korreliert sind. Helmholtz wird an dieser Festlegung, die sich bereits in seiner ersten noch sehr rudimentären Darstellung der Zeichentheorie findet[10] und die ich Zeichenkonstanz nenne,[11] zeitlebens festhalten.

Dem Gegensatz zwischen der Zeichenhaftigkeit der Wahrnehmungen und der nicht durch Zeichen getrübten wissenschaftlichen Wirklichkeitserkenntnis liegt nun Helmholtz' Verständnis der Kausalität zugrunde. Den wissenschaftlichen Aussagen ist ihm zufolge dieselbe kausale Struktur eigen, die auch das wirkliche Geschehen der Natur determiniert. Demgegenüber sei der psychologische Prozeß, durch den die Sinneswahrnehmungen zustande kommen, irreduzibel durch akausale Elemente bestimmt. Letzteres möchte ich kurz erläutern: Helmholtz definiert Wahrnehmungen als Verknüpfung bestimmter Empfindungen mit oder zu einer bewußten Objektvorstellung.[12] Das Kennzeichnende seiner

[6] Helmholtz (1847), S. 7, Helmholtz (1853), S. 41.
[7] Helmholtz (1852), S. 608, Helmholtz (1853), S. 41 f. Zu Helmholtz' Wahrnehmungstheorie, in der er den Begriff des Zeichens entwickelte, siehe Hatfield (1990), Turner (1994), Meyering (1989) und Schiemann (1997), Kap. B.II.3a.
[8] Helmholtz (1852), S. 608, et passim.
[9] Helmholtz (1852), S. 608, analog Helmholtz (1853), S. 41 f.
[10] Helmholtz (1852).
[11] In Anlehnung an Meyering (1989).
[12] Helmholtz (1855), S. 114, und Helmholtz (1856 ff.), S. 427 ff. und 798.

Wahrnehmungslehre besteht darin, daß die Integrationsleistungen, durch die Wahrnehmungen aus Empfindungen entstehen, von den Individuen in Handlungszusammenhängen erlernt werden müssen.[13] Als Hauptsatz dieser „empiristischen Ansicht“ formuliert Helmholtz:

> *„Die Sinnesempfindungen sind für unser Bewußtsein Zeichen, deren Bedeutung verstehen zu lernen, unserem Verstande überlassen ist.“*[14]

Es handelt sich um einen wandelbaren, von Fehlern, d. h. Sinnestäuschungen, nicht freien und niemals abgeschlossenen Lernprozeß, in dem ein autonomes Subjekt konstitutiv in das Verhältnis zwischen Zeichen und Bezeichnetem eintritt, so daß von einer dreistelligen Relation zu sprechen ist. Ob die Zeichen richtig verstanden werden, kann sich nur relativ zu ihrer erfolgreichen Anwendung erweisen. Dem Subjekt muß deshalb ein gewisses Maß an Handlungsspielraum, den Helmholtz mit Willensfreiheit gleichsetzt, gegeben sein. Dabei geht er – im Gegensatz zu Kant – davon aus, daß diejenigen Phänomene, die durch Willensfreiheit bestimmt sind, nicht vollständig kausal erklärt werden können.[15] Die Sinneswahrnehmung kann also nur teilweise, soweit sie kausaler Gesetzmäßigkeit folgt, zum Gegenstand der Naturwissenschaft gemacht werden. Um zur Wirklichkeit vorzudringen, muß die Naturwissenschaft deshalb „das Gebiet der sinnlichen Wahrnehmung“, wie es bei Helmholtz 1853 heißt, „verlassen“.[16] Sie müsse in jedem einzelnen Fall prüfen, ob dasjenige, was die Sinne für ähnlich oder verschieden erklären, tatsächlich ähnlich oder verschieden sei.[17] Den in der Zeichensprache ausgedrückten Empfindungen kommt so wenig objektive Wahrheit zu, wie sie kausaler Natur sind.

Es ist die Abkehr von dieser kritischen Beurteilung des Wahrheitsgehaltes der Empfindungszeichen, die Helmholtz mit der Einführung des Bildbegriffes anzeigt. Um den Wahrheitsanspruch wissenschaftlicher Aussagen wahrnehmungstheoretisch zu begründen, hebt er 1867 (in der 1. Auflage seines „Handbuches der physiologischen Optik“) die bis dahin vertretene strikte Entgegensetzung von objektivem und subjektivem Wissen

[13] Die Empfindungsverarbeitung ist Helmholtz zufolge in der Regel unbewusst und unwillkürlich: Wahrnehmungen und darauf bezogene Reaktionen kommen dadurch zustande, daß ähnliche Empfindungen und ihr erfolgreiches Verständnis beständig im Gedächtnis gespeichert und, ohne daß sich das betreffende Individuum in der Regel dessen bewusst wäre, zu Vorstellungs- und Reaktionsweisen verallgemeinert werden. Tritt eine vergleichbare Empfindung wieder auf, bestimmen diese Regeln, nun ausnahmslos unbewusst, die dann entstehenden Vorstellungen und Reaktionen.

[14] Helmholtz (1856 ff.), S. 797, bzw. Helmholtz (1885 ff.), S. 947.

[15] Helmholtz (1847), S. 4. Hierunter rechnet er mit Gewissheit die geisteswissenschaftlichen Phänomene (Helmholtz (1862), S. 171) mit Vorbehalt einige Erscheinungen der belebten Natur (Helmholtz (1856 ff.), S. 454) und eben auch in gewissem Maß die Sinneswahrnehmung. Helmholtz' Verständnis von Kausalität reflektiert eine empiristische Position, die grundverschieden von der idealistischen Position Kants ist.

[16] Helmholtz (1853), S. 40. Diese Feststellung scheint zu Helmholtz (1847), S. 5, in Widerspruch zu stehen, wo Helmholtz sagt: *„Die Gegenstände der Natur sind aber nicht wirkungslos, ja wir kommen überhaupt zu ihrer Erkenntnis nur durch die Wirkungen, welche von ihnen aus auf unsere Sinnesorgane erfolgen, indem wir aus diesen Wirkungen auf ein Wirkendes schließen.“* Meiner Auffassung nach meint Helmholtz hier jedoch nicht wissenschaftliche Erkenntnisse, sondern lebensweltliche Wahrnehmungen und vorwissenschaftliche Erfahrungen.

[17] Helmholtz (1853), S. 40.

partiell auf. Über die bereits genannte Zeichenkonstanz hinaus postuliert er die zeitliche Übereinstimmung von Zeichen und Bezeichnetem:

> *„Die einzige Beziehung, in welcher eine wirkliche Übereinstimmung unserer Wahrnehmung mit der Wirklichkeit stattfinden kann, ist die Zeitfolge der Ereignisse mit ihren verschiedenen Eigenthümlichkeiten. Die Gleichzeitigkeit, die Folge, die regelmäßige Wiederkehr der Gleichzeitigkeit oder Folge kann in den Empfindungen ebenso stattfinden, wie in den Ereignissen.“*[18]

Neben der Zeichenkonstanz ist hiermit eine zweite nichtkausale Übereinstimmung von Zeichen und Bezeichnetem hergestellt. Betraf jene den Objektbezug, bezieht sich diese auf die zeitliche Struktur zwischen den Objekteigenschaften. Durch die Übereinstimmung in der Zeitfolge verändern die Zeichen ihren Charakter grundlegend. Sie brechen das Wahrheitsmonopol der Wissenschaft und können, wie es jetzt bei Helmholtz heißt, über „das wahre Wesen der Dinge“ Auskunft geben.[19] Um diesen erweiterten Wirklichkeitsbezug der Zeichen zu benennen, spricht Helmholtz erstmals im Handbuch von „Bildern“:

> *„So sind die Vorstellungen von der Außenwelt Bilder der gesetzmäßigen Zeitfolge der Naturereignisse* [...]*.“*[20]

Helmholtz gebraucht den Bildbegriff hier im Sinne eines Abbildes. Die von ihm vorausgesetzte kausale Struktur der Welt wird in ihrer zeitlichen Verfassung in der Sinneswahrnehmung unverfälscht wiedergegeben. Aus der Wahrnehmungstheorie kommend dient dieser Bildbegriff wenig später der Neubestimmung der wissenschaftlichen Aufgabenstellung. Die Aufgabe der Wissenschaft lautet nunmehr, die in der Wahrnehmung eingelassene zeitliche Struktur „herauszufinden und als Gesetz zusammenzufassen“.[21] Wissenschaftliche Erkenntnis, die in kausalen Gesetzesaussagen besteht, wird zur reinen Darstellung des bildhaften Anteils der Sinneswahrnehmung. Naturgesetze, so wird Helmholtz von nun an hervorheben, haben den Charakter eines Abbildes „der zeitlichen Folge von Naturphänomenen.“[22]

Mit der Einschränkung ihres Wirklichkeitsbezuges auf Wahrnehmbares verliert die Wissenschaft ihren uneingeschränkten Zugang zur Wirklichkeit. Weil Gesetzesaussagen nur noch Relationen zwischen Objekteigenschaften abbilden, kann die Naturforschung nicht mehr beanspruchen, zu den Objekten selbst, den substantiellen Ursachen der Phänomene vorzudringen. In seiner Bedeutung als wissenschaftliches Abbild beinhaltet der Bildbegriff bei Helmholtz weder einen anschaulichen Gehalt, der über den bloßen Gegenstandsbezug hinausweisen würde, noch ein Moment der Darstellungsfreiheit. Gesetze sind für ihn mathematisch darzustellende Zeitverhältnisse, die zwischen kausalverknüpften Zuständen bestehen, sich eindeutig (in Orientierung am mechanischen Prinzip der kleinsten Wirkung) erfassen lassen und keiner Versinnbildlichung bedürfen.

[18] Helmholtz (1856 ff.), S. 445.
[19] Helmholtz (1856 ff.), S. 446.
[20] Helmholtz (1856 ff.), S. 446.
[21] Helmholtz (1868), S. 319 f.
[22] Helmholtz (1869), S. 395, Helmholtz (1878a), S. 222 f., Helmholtz (1885 ff.), S. 586, Helmholtz (1892), S. 358.

Während Helmholtz den Ausdruck Zeichen durchgängig zur Charakterisierung der Sinneswahrnehmung und -empfindung verwendet, ist sein Gebrauch des Bildbegriffes schwankend. Meist versteht er ihn im eben erläuterten Sinn eines Abbildes, mitunter aber auch im Sinn eines Zeichens.[23] Wenn er an einigen Stellen seiner öffentlichen Reden das Verhältnis von Zeichen und Bild am Beispiel der Künste zu illustrieren versucht, hat man überdies den Eindruck, er stelle den Bildbegriff in einer dritten, umfassenderen Bedeutung über den des Zeichens.

> *„Ein Bild muß in irgend einer Beziehung seinem Objecte gleichartig sein; wie zum Beispiel eine Statue mit dem abgebildeten Menschen gleiche Körperform, ein Gemälde gleiche Farbe und gleiche perspectivische Projection hat. Für ein Zeichen genügt es, daß es zur Erscheinung komme, so oft der zu bezeichnende Vorgang eintritt, ohne daß irgend welche andere Art von Uebereinstimmung, als die Gleichzeitigkeit des Auftretens zwischen ihnen existirt.“*[24]

Was für das Zeichen genügt, um ein Zeichen zu sein, ist diejenige Eigenschaft, mit dem Helmholtz das behauptete Abbildungsverhältnis begründet: Weil das Zeichen mit dem Bezeichneten gleichzeitig ist, stimmen die Zeitfolgen der Ereignisse in beiden überein.[25] Und weil das Zeichen deshalb mit dem Bezeichneten in einer Beziehung gleichartig ist, gehört es zur umfassenden Menge der Bilder, in der Statuen und Gemälde ebenso enthalten sind wie Schriftzeichen. In dieser Bedeutung ist der Begriff des Bildes an den des Kunstwerkes angelehnt. Er hat einen über die Beziehung der Gleichartig- bzw. Ähnlichkeit hinausgehenden Gehalt, der nur dem Bild, nicht aber seinem Objekt eigen ist, auf die verschiedenste Weise intentional gestaltet werden kann und dementsprechend für die Wissenschaft bedeutungslos ist.

1.2 Zeichenhaftigkeit im Bild. Elemente in Helmholtz' Wissenschaftsauffassung seit etwa dem Beginn der 70er Jahre

Bis zum Ende etwa der 60er Jahre ist Helmholtz um die Begründung des Wahrheitsanspruches der wissenschaftlichen Erkenntnis bemüht. Dem dient sowohl ihre Entgegensetzung zur Zeichenhaftigkeit der Wahrnehmung als auch das später erhobene Postulat der zeitlichen Abbildungsrelation. Im Verlauf der 70er Jahre setzt dann in der Entwicklung von Helmholtz' Wissenschaftstheorie ein Wandlungsprozeß ein, der in eine vollkommen neue Richtung weist: Er beginnt, den bisher vertretenen absoluten Geltungsanspruch

[23] Im Sinne eines Abbildes: Helmholtz (1856 ff.), S. 446 (vgl. Anm. 20), Helmholtz (1878a), S. 222 („Denn vom Bilde verlangt man irgend eine Art der Gleichheit mit dem abgebildeten Gegenstande [...].“), Helmholtz (1892), S. 358; im Sinne von Zeichen: Helmholtz (1878a), S. 222 („Bilder [...], die [...] unsere Sinne von den Dingen liefern“), Helmholtz (1885 ff.), S. 590 und 599 („die Gesammtheit der perspektivischen Bilder“).

[24] Helmholtz (1869), S. 393 (Hervorheb. im Text), entsprechend, aber ohne die Erwähnung der Gleichzeitigkeit in: Helmholtz (1878a), S. 222.

[25] Helmholtz (1856 ff.), S. 445.

einer wahrnehmungstheoretisch begründeten Relativierung zu unterziehen. Für das Verhältnis von Zeichen und Abbild bedeutet dieser Wandlungsprozeß, daß die begriffliche Unterscheidung zwischen ihnen zunehmend aufgehoben wird. Die vom jeweiligen Erfolg einer Handlung abhängigen Wahrheitsbedingungen der Zeichen gelten mehr und mehr auch für die naturwissenschaftlich ermittelten Abbilder der Wirklichkeit. Dabei werden die für die Zeichenentstehung maßgeblichen psychologischen Prozesse zu elementaren Erkenntnisbedingungen, die auch von der naturwissenschaftlichen Erkenntnis im Prinzip nicht mehr transzendiert werden können.

Die möglichen Hinter- und Beweggründe für diese tiefgreifende Veränderung, zu der Helmholtz nie explizit Stellung genommen hat, sind vielfältiger Art. Um nur die wichtigsten zu nennen, möchte ich erwähnen, daß Helmholtz einer allgemein in den Naturwissenschaften der zweiten Hälfte 19. Jahrhunderts Platz greifenden Hypothetisierung wissenschaftlicher Aussagen folgt, daß er mit dem Wandel seiner Wissenschaftsauffassung auf eine in den 70er Jahren hervortretende Krise seiner mechanistischen Naturauffassung, die Abbild der ersten Ursachen der Natur sein sollte, reagiert und daß der Wandel schließlich auch als Teil des Ausbaus seiner Wahrnehmungstheorie zu einer umfassenden Erkenntnistheorie verstanden werden muß.[26] In seiner zweiten Rede zu Goethes naturwissenschaftlichen Arbeiten findet Helmholtz 1892 das „Schlußergebniss“ seiner Erkenntnislehre in dem folgenden Satz von Goethe zusammengefaßt:

> *„‘Alles Vergängliche ist nur ein Gleichniss’“*, und Helmholtz fährt fort: *„d. h. was in der Zeit geschieht, und was wir durch die Sinne wahrnehmen, das kennen wir nur im Gleichniss. Ich wüßte das Schlußergebniss unserer physiologischen Erkenntnislehre kaum prägnanter auszusprechen.* [. . .] *Alle Kenntniss der Naturgesetze ist inductiv, keine Induction ist je absolut fertig. Wir fühlen* [. . .] *unsere Unzulänglichkeit zu tieferem Eindringen* [in die Natur – G.S.] *in einer Art von Angst.“*[27]

Das Wesen des „Vergänglichen“ wird weiterhin in seiner zeitlichen Kausalstruktur gesehen, die in die Wahrnehmung, deren Zeichenhaftigkeit Helmholtz hier „Gleichniss“ nennt, abgebildet wird. Bis zum Ende etwa der 60er Jahre ist Helmholtz davon ausgegangen, daß diese Struktur in den experimentell-induktiv ermittelten Naturgesetzen zum Ausdruck komme und sich insgesamt auf mechanische Gesetze zurückführen lasse. Diese Reduktion kann aber nicht mehr vollständig ausgeführt werden, wenn das induktive Verfahren nicht abschließbar ist, wenn es also einen Rest der wirklichen Kausalstruktur bzw. ihres Abbildes in der Wahrnehmung gibt, der sich einer wissenschaftlichen Erfassung entzieht. Der Inhalt der Wahrnehmung ist jetzt reicher als das Gesetzeswissen der Naturforschung, das gegenüber der Wirklichkeit immer lückenhaft bleibt. In seiner Unvollständigkeit kann das Gesetzeswissen, wie Helmholtz an anderer Stelle bemerkt, von

[26] Die Veränderungen der Helmholtz’schen Wissenschaftsauffassung wurden viel diskutiert, vgl. Erdmann (1921); Hörz und Wollgast (1971); König (1968); Buchwald (1994b); Hatfield (1994); Heidelberger (1994); und Schiemann (1994) und (1997), Teil B. Zur zunehmenden Hypothetisierung der Wissenschaft, Aussagen des 19. Jahrhunderts, vgl. Diemer (1968), und Schnädelbach (1983).

[27] Helmholtz (1892), S. 358.

seiner Darstellung im „Zeichensystem [der] Sinneseindrücke“ nicht vollständig abgetrennt werden.[28]

Abbild und Zeichen rücken zusammen. Das heißt aber nicht, daß das Gesetzeswissen mehr als früher auf anschauliche Darstellungen angewiesen wäre. Es bleibt ein streng mathematisch verfaßtes Wissen, das in der „Anschauung nur eine erleichternde Hülfe, beziehlich ein zu beseitigender falscher Schein“[29] sieht. Helmholtz entwickelt zwar in den 80er Jahren ein Verfahren der mechanischen Modellbildung (an dem Hertz später unmittelbar anknüpfen wird), grenzt diese Versinnbildlichung aber deutlich von wissenschaftlichen Erklärungen, die von der Kenntnis der Naturgesetze ausgehen müssen, ab.[30] Das Gesetzeswissen verändert also weder seine kausale Struktur noch seine formale Darstellungsweise. Was einem Wandel unterworfen wird, sind seine Geltungsbedingungen. Die Abbildungsbeziehung kann nur als ideales Verhältnis unterstellt werden und die „Übereinstimmung der Zeitfolgen“ zwischen Abbild und Abgebildeten lässt sich nur noch approximativ erweisen.[31]

Auf der kategorialen Ebene findet diese Geltungsrelativierung ihren deutlichsten Ausdruck in der Hypothetisierung der Kausalität.[32] Nachdem Helmholtz gegen Ende der 70er Jahre bereits ihre Geltung nach dem Vorbild seiner Wahrnehmungstheorie vom jeweiligen Erfolg ihrer Anwendung abhängig gemacht hat,[33] erklärt er in einer sehr wahrscheinlich danach verfaßten unveröffentlichten Aufzeichnung, daß auch die Kausalität nur eine Hypothese sei, d. h. eine noch nicht hinreichend verifizierte und auch nicht abschließend verifizierbare Erfahrungsaussage.[34] Mit dieser Feststellung erhalten Gesetzesaussagen einen unhintergehbar hypothetischen Charakter.

Im Hinblick auf den Vergleich mit dem Hertzschen Bildbegriff ist es wichtig festzustellen, daß Helmholtz bei der Revision seiner Wissenschaftsauffassung nicht bei der Neubewertung einzelner Grundbegriffe stehen bleibt. Er weitet die ursprünglich wahrnehmungstheoretische Zeichenkonzeption zu einer naturalistischen Theorie der Erkenntnis aus. Seine Zuspitzung findet dieser Prozeß in der Neubestimmung des Denkens, in dem Helmholtz anfänglich eine mit der Wirklichkeit übereinstimmende Instanz der Erkenntnis gesehen hatte.[35] Schon gegen Ende der 70er Jahre ist er aber überzeugt, daß das Denken grundsätzlich von Zeichenhaftigkeit nicht mehr frei sind:

> *„offenbar haben wir es* [bei diesem psychischen Prozeß der Empfindungsverarbeitung – G.S.] *mit einem elementaren Prozesse zu thun, der allem eigentlich sogenannten Denken zu Grunde liegt, wenn dabei auch die kritische*

[28] Helmholtz (1878a), S. 242.
[29] Helmholtz (1878b), S. 655.
[30] Helmholtz (1884b), S. 176.
[31] Helmholtz (1878a), S. 393.
[32] Zu Helmholtz' Kausalitätsauffassung vgl. Helmholtz (1847), S. 4, Helmholtz (1855), S. 116, Helmholtz (1856 ff.), S. 453, Helmholtz (1878a), S. 243 f., Helmholtz (1885 ff.), S. 590, Helmholtz (1897 ff.), Bd. I.1., S. 15 ff.
[33] Helmholtz (1878a), S. 243 f.
[34] Koenigsberger (1902 f.), Bd. 1, S. 247 f.
[35] Ausdruck der Bewertung des Denkens als einer absoluten Instanz ist außer seiner Position zur Kausalität (vgl. Anm. 32) auch seine Auffassung zur Logik und Mathematik in Helmholtz (1862).

Sichtung und Vervollständigung der einzelnen Schritte fehlt, wie sie in der wissenschaftlichen Bildung der Begriffe und Schlüsse eintritt.“[36]

Was in der wissenschaftlichen Begriffsbildung und in der logischen Deduktion von Folgerungen aus Gesetzesaussagen überhaupt nur geleistet werden kann, ist jetzt bis in die „einzelnen Schritte“ wahrnehmungspsychologisch vorbestimmt. Unter diesen Bedingungen kommt dem Denken keine erfahrungsfreie Autonomie (von der Hertz ausgehen wird) zu, es kann keine unabhängige Geltungsinstanz sein und wird Teil des Gegenstandsgebietes einer Erfahrungswissenschaft, die sich nur noch approximativ einem Ideal der Wahrheit annähern kann.[37]

Die bisher besprochenen Aspekte betrafen die Seite des Abbildes, das in der Sinneswahrnehmung eingelassen und in Gesetzen darzustellen ist. Für Helmholtz wird aber auch die Existenzweise des Abgebildeten, der kausal strukturierten Wirklichkeit, zunehmend fragwürdig. Nachdem er bis in die 70er Jahre die realistische Annahme einer unabhängig vom Erkennen bestehenden Wirklichkeit vorausgesetzt hatte, nimmt er an der zentralen Stelle seiner Rede „Die Thatsachen in der Wahrnehmung“ von 1878 eine vollständige Relativierung seines Realismus vor. Er erkennt den Idealismus als gleichberechtigte und unwiderlegbare erkenntnistheoretische Alternative an und bezeichnet beide deswegen als „metaphysische Hypothesen“.[38] Allerdings schränkt er diese Aussage in einer Beilage zu seiner Rede sogleich wieder ein. Er macht einen letzten nichthypothetischen Rest von vorsprachlichen Realitätsannahmen geltend, der in den räumlichen und zeitlichen Bestimmungsgründen der Phänomene liege.[39] Für dieses empirische Wissensfundament zahlt Helmholtz freilich einen hohen Preis: Alle darüber hinausgehende Begriffsbildung unterliegt nun einer zusätzlichen Hypothetisierung, die auf willkürlich wählbare erkenntnistheoretische Voraussetzungen zurückgeht.

Die Veränderung der Bestimmung von Abbild und Abgebildeten lassen sich dahingehend zusammenfassen, daß sich Helmholtz der angenommenen Übereinstimmung zwischen ihnen immer weniger gewiß sein kann. Das von der Wissenschaft gegebene Abbild der Welt verliert seinen unbezweifelbaren Bezug zur Welt und büßt an Dauerhaftigkeit und Schärfe ein. Man kann dieses Resultat auch als Ergebnis der Unterordnung des Denkens unter die Bedingungen eines Erfahrungsbezuges ansehen, dem Helmholtz im Gegensatz zu seiner frühen Wissenschaftsauffassung nur noch approximative Geltung zumißt.

[36] Helmholtz (1878a), S. 233. Helmholtz spricht hier auch von der Erweiterung des Begriffes des Denkens (Helmholtz (1878a), S. 240).
[37] Schon 1868 glaubt Helmholtz mit seinen sinnesphysiologischen Arbeiten erstmals „in das ihr bisher so unzugängliche Gebiet der Seelenthätigkeiten“ einzugreifen (Helmholtz (1868), S. 268).
[38] Helmholtz (1878a), S. 238 f.
[39] Helmholtz (1878b), S. 655 ff.

1.3 Bildervielfalt der Zeichen.Hertz' Wissenschaftstheorie in den „Prinzipien der Mechanik“ (1894)

Wie Helmholtz so verwendet auch Hertz den Begriff des Bildes, um auf die einzigen Übereinstimmungen hinzuweisen, die zwischen der Außenwelt und einer Darstellung von ihr bestehen können. Helmholtz hatte aus der Zeichenkonstanz und der Gleichzeitigkeit von Zeichen und Bezeichnetem den Anspruch abgeleitet, daß das gesamte Gesetzeswissen der Naturforschung Abbildcharakter habe. Auch in Hertz' Wissenschaftstheorie ist noch von Abbildung die Rede. Wissenschaftliche Theorien sind für ihn „Bilder“, die im Verhältnis zur Außenwelt bloß noch einer „ersten Grundforderung“[40] genügen können: In ihren „denknotwendigen Folgen“ können sie mit den „naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände"[41] übereinstimmen.[42]

Für die Abbildung von Gegenständen gibt Hertz jedoch kein anderes Kriterium an als dasjenige der Übereinstimmung bezüglich der „Folgen“. Er beschränkt die Relation zwischen Darstellung und Dargestelltem vollkommen auf die Voraussagen, die aus einer Theorie deduktiv abgeleitet und in der Erfahrung überprüft werden können. Nicht der Inhalt einer Theorie, ihre Prinzipien, Begriffe und Gesetze, sondern nur ihre Resultate lassen sich noch mit der Außenwelt in Verbindung setzen. Im Gegensatz zu Helmholtz vertrat Hertz keine induktive, sondern deduktive Wissenschaftsauffassung.

Dieser weitere Schritt im Wahrheitsverlust der theoretischen Erkenntnis reflektiert sich im Bedeutungswandel des Bildbegriffes. Im Gegensatz zu Helmholtz, dessen Abbilder allein die zeitliche Struktur der Wirklichkeit betrafen, unterstellt Hertz mit seinen Bildbegriff Theorieelemente, die in keinem erkennbaren Zusammenhang mit dem Dargestellten stehen und die für Helmholtz nur „Zeichen“ oder „Symbole“ gewesen wären. Der einen, auch von Hertz realistisch vorausgesetzten Realität kann jetzt eine Vielfalt von Theorien gegenüberstehen. Die Welt scheint fern und der Begriff des Abbildes unangebracht. Daß Hertz ihn dennoch verwendet, ist Ausdruck seiner Hoffnung, die Kluft zwischen Darstellung und Dargestelltem möge nur ein vorübergehender Zustand sein und die von ihm vermutete mechanische Ursache aller Phänomene doch noch gefunden werden. Bei näherem Hinsehen zeigt sich, wie diese mit Helmholtz geteilte Zielsetzung des Mechanismus in die Bestimmung seines Bildbegriffes Eingang findet und dennoch eine im Verhältnis zu Helmholtz weitergehende Modernisierung der Wissenschaftsauffassung nicht verhindert.

In einem Artikel zum 70sten Geburtstag von Helmholtz nennt Hertz neben der Erfindung des Augenspiegels und der Entdeckung des Energieerhaltungssatzes als dritten „Ruhmestitel“ dessen sinnesphysiologische Arbeiten und hebt hervor, daß „diese Untersuchungen [eng . . .] mit den Fragen nach der [. . .] Möglichkeit und dem Rechte aller Naturerkenntnis“ verknüpft seien.[43] Obwohl er nicht explizit auf Helmholtz' Zeichentheorie oder dessen Bildbegriff Bezug genommen hat, kann man davon ausgehen, daß

[40] Hertz (1894), S. 2.
[41] Hertz (1894), S. 1.
[42] Zur Hertzschen Bildtheorie vgl. d'Agostino (1990) und Majer (1985).
[43] Hertz (1894), S. 365.

Hertz beides kannte und in seiner Bedeutung für die Wissenschaftstheorie zu schätzen wußte.

Bezeichnenderweise gibt Hertz nun in seinem Artikel eine Darstellung der Helmholtzschen Wahrnehmungslehre, die am ehesten auf deren frühe Entwicklungsphase paßt. Er glaubt, sich auf Helmholtz stützen zu können, wenn er die Sinnesempfindung als passive Vermittlungsinstanz zwischen zwei vollkommen voneinander getrennten Welten auffaßt. Die psychologischen Mechanismen der Empfindungsverarbeitung werden von ihm in keiner Weise als jener Elementarprozeß angesehen, der, wie es bei Helmholtz später hieß, „allem eigentlich sogenannten Denken zu Grunde liegt".[44] In seinem Artikel legt er sich ganz schematisch die Frage vor:

> *„Genügt die Mannigfaltigkeit* [... der] *Beziehungen* [der Gesichtsempfindungen] *um alle denkmöglichen Mannigfaltigkeiten der Außenwelt abzubilden, alle Mannigfaltigkeiten der inneren Welt zu rechtfertigen?"*[45]

Die Antwort gibt Hertz drei Jahre später in den „Prinzipien der Mechanik", deren Einleitung man als seinen Beitrag zur Wissenschaftstheorie bezeichnen kann. Dort heißt es, daß sich aus den durch Sinnesempfindungen hervorgerufenen Wahrnehmungen „noch kein gesetzmäßiges Weltbild" ergebe.[46] Damit ist die wesentliche Differenz zu Helmholtz' (Ab)Bildbegriff und der Ursprung der Hertzschen Bildervielfalt zugleich ausgesprochen. Der Geist mag in der Wahrnehmung zwar einzelne Regelmäßigkeiten erkennen, kann ihnen aber keinen die Außenwelt umfassenden Zusammenhang von Gesetzen entnehmen. Diese Feststellung bezieht Hertz ebenso auf lebensweltliche Vorstellungen, die an unmittelbare Sinneswahrnehmungen anknüpfen, wie auf die wissenschaftliche Erkenntnis. Beide genügen im Verhältnis zur Welt gleichermaßen nur der „ersten Grundforderung", stimmen höchstens in den notwendigen Folgen des Denkens mit der Natur überein. Beide bezeichnet Hertz deshalb als „Bilder".[47]

Wissenschaftliche Erkenntnis ist bei Hertz von lebensweltlichen Vorstellungen lediglich noch dadurch unterschieden, daß mögliche Kriterien zur Bildbeurteilung in der Wissenschaft explizit formuliert sein müssen.[48] Die Differenz zwischen lebensweltlichen Vorstellungen und wissenschaftlicher Erkenntnis, die von Helmholtz bereits zunehmend verkleinert wurde, scheint jetzt nur noch graduell zu sein. Dieser Eindruck wird durch den Umstand verstärkt, daß sich bei Hertz auch keine Unterscheidung findet, die der von Helmholtz fast durchgängig vorgenommenen Trennung von Zeichen und (Ab)Bild vergleichbar wäre. Das Wort Zeichen steht bei Hertz allgemein für die in Bildern enthaltenen – lebensweltlichen wie wissenschaftlichen – Anschauungen, Ausdrücke und Verknüpfungen.[49]

---

[44] Vgl. Fußnote 36.
[45] Hertz (1894), S. 365.
[46] Hertz (1894), S. 30.
[47] Hertz spricht auch von „Symbolen" und – seinem Realismus entsprechend – auch von „Scheinbildern" (Hertz (1894), S. 1).
[48] Hierzu gehört, die in Bildern verwendeten Bezeichnungen und ihren eventuell bestehenden Erfahrungsbezug deutlich auszuweisen. Hertz (1894), S. 3.
[49] Hertz (1894), S. 158 f.

Es wäre jedoch ein Irrtum zu meinen, daß Hertz wissenschaftliche Theorien in ihrer Bildhaftigkeit mit lebensweltlichen Vorstellungen gleichsetzte. Einen ersten, noch wenig augenfälligen Anhaltspunkt gibt Hertz selbst, wenn er die prinzipielle Möglichkeit, einen Gegenstand mit „verschiedene[n] Bilder[n]“ darzustellen, nur auf lebensweltliche Vorstellungen bezieht.[50]

Warum besteht diese Möglichkeit und inwieweit besteht sie auch in der Wissenschaft? Hertz nimmt zunächst zur ersten Frage Stellung: Durch die Übereinstimmung von denknotwendigen und naturnotwendigen Folgen seien die Vorstellungen „eindeutig [...] noch nicht bestimmt“.[51] Implizit geht hier die Voraussetzung eines (allen Menschen eigenen) autonomen Geistesvermögens ein, das weder mit den realen Objekten noch mit ihren Eigenschaften in irgend einer Beziehung zu stehen braucht und sich seiner Möglichkeiten zur Darstellungsvielfalt nicht durch selbstgesetzte Vorschriften beraubt – eine Voraussetzung, die in Helmholtz' später Wissenschaftsauffassung undenkbar gewesen wäre. Kann sich die von Hertz unterstellte Freiheit des Geistes in der Wissenschaft entfalten oder erfährt sie Einschränkungen, die doch wieder auf das von Helmholtz vertretene Gebot hinauslaufen, eine allein gültige Theorie zu schaffen?

Die drei berühmten Kriterien und ihren Erläuterungen, nach denen Hertz die Bilder der Wissenschaft beurteilt, stellen die verschlüsselte Antwort auf diese Frage dar. Während die ersten beiden Kriterien, die ich liberal-rational nennen möchte, eine Bildervielfalt erlauben, stellt das dritte unter den möglichen Bildern eines Gegenstandsgebietes eine eher konservative Ordnung her.Das erste Kriterium der „Zulässigkeit“ formuliert eine Minimalbedingung an die Form: Bilder dürfen keinen *„Widerspruch gegen die Gesetze unseres Denkens in sich tragen und* [... müssen] *also* [...] *logisch zulässig* [...]“ sein.[52] Hertz mißt diesem Kriterium größte Bedeutung zu.[53] Mit einer genaueren Angabe, was unter den „Gesetzen unseres Denkens“ zu verstehen ist, hält er sich allerdings sehr zurück. Er beschränkt sich im wesentlichen auf die pauschale Feststellung, daß über *„die Eigenschaften* [... des] *Geistes* [...] *mit Gültigkeit* [...] *für alle Zeiten“* entschieden werden könne.[54] Um welche Eigenschaften es sich auch handeln mag, sie gelten – einmal erkannt oder festgelegt – für alle Bilder gleichermaßen.

Hertz' Äußerungen zu weiteren Bestimmungen der Denkgesetze bleiben insgesamt vage und sind – dem Kriterium widersprechend – von Widersprüchen nicht frei. So kann man der Einleitung und dem nachfolgenden Haupttext der „Prinzipien der Mechanik“ entnehmen, daß er der Freiheit des Geistes in der Naturforschung nicht allein die Gesetze der klassischen Aussagenlogik vorschreiben wollte. Im ersten Teil des Haupttextes beansprucht er, für die dort vorgenommene Grundlegung der Mechanik (sein „Bild“ der Mechanik) ausschließlich Aussagen vorzutragen, die „Urteile a priori im Sinne Kant's“ sind.[55] Allerdings löst er diesen Anspruch nur bei der Einführung des Begriffes der Zeit

[50] Hertz (1894), S. 2.
[51] Hertz (1894), S. 2.
[52] Hertz (1894), S. 2.
[53] Hertz (1894), S. 39 f.
[54] Hertz (1894), S. 3.
[55] Hertz (1894), § 1.

ein. Schon beim Raumbegriff kommt es ihm auf den Unterschied zwischen synthetischen und analytischen Urteilen nicht mehr an:

> *„Der Raum ist also der Raum der Euklid'schen Geometrie* [...]. *Es ist gleichgültig für uns, ob man diese Eigenschaften* [des Raumes] *ansieht als gegeben durch die Gesetze der inneren Anschauung oder als denknotwendige Folgen willkürlicher Definitionen.“*[56]

Auch aus einem nicht umgesetzten transzendentalphilosophischen Anspruch ergibt sich mit Notwendigkeit, daß Bilder, die den von Kant formulierten Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung nicht genügen, keine zulässigen Bilder sind. Hertz scheint jedoch den apriorischen Charakter seines Bildes mehr als eine Eigenart eines einzelnen Bildes aufgefasst zu haben.[57] Dies ist um so befremdlicher, als auch er das Kriterium der Zulässigkeit auf die Gesamtheit der Bildervielfalt anwendet:

> *„Soll ein Bild gewisser äußerer Dinge* [...] *zulässig sein, so müssen die Züge desselben nicht allein unter sich in Einklang stehen, sondern sie dürfen auch nicht den Zügen anderer in unserer Erkenntnis schon feststehender Bilder widersprechen.“*[58]

Sieht man von seinem – vielleicht doch nur verbalen – Bekenntnis zur transzendentalphilosophischen Begründung der Wissenschaft ab, bleibt die Forderung nach Widerspruchsfreiheit als wichtigste Minimalbedingung an die Form der Bilder übrig.

In strikter Trennung von der Erfahrung wacht so über der Bilderwelt bei Hertz das Auge ewiger Rationalität und beschränkt ihre Vielfalt, noch bevor irgendein Kontakt mit der Welt hergestellt ist. Die Gewißheit, daß sich weltferne Denkfolgen überhaupt mit der Natur zu berühren vermögen, könnte man das platonische Element seiner Wissenschaftsauffassung nennen.[59] Daß diese Berührung jedoch nur sehr eingeschränkt stattfinden muß und damit den Theorien trotz ihrer verordneten Logik ein großer Spielraum verbleibt, regelt das zweite Kriterium.

Das zweite Kriterium der „Richtigkeit“ legt eine Minimalbedingung an den Inhalt zulässiger Bilder fest:

> *„Unrichtig nennen wir zulässige Bilder dann, wenn ihre wesentlichen Beziehungen den Beziehungen der äußeren Dingen widersprechen, das heißt wenn sie jener ersten Grundforderung nicht genügen.“*[60]

Dieses Kriterium schränkt die Übereinstimmung von denknotwendigen und naturnotwendigen „Folgen“ („erste Grundforderung“) auf „wesentliche Beziehungen“ ein. „Wesentlich“ sind hierbei genau die Folgen, die, aus welchen Gründen auch immer, den Anspruch

[56] Hertz (1894), S. 53.

[57] In keiner seiner sehr ausführlichen Kritiken an den anderen Bildern der Mechanik (Hertz (1894), S. 5 ff.) ist davon die Rede, daß diese nicht den Prinzipien der Transzendentalphilosophie genügen.

[58] Hertz (1894), S. 27.

[59] Diese Interpretation richtet sich gegen die Vermutung, daß Kants Philosophie in Hertz' Denken eine große Rolle gespielt habe. Vgl. z. B. Kuczera (1983), d'Agostino (1990), Hacker (1972). Vgl. Fußnote 15.

[60] Hertz (1894), S. 2.

erheben, empirisch verifizierbar zu sein. Denn die Richtigkeit ist „vollkommen“, wenn *„alle diejenigen Züge* [... eines] *Bildes, welche überhaupt den Anspruch machen, beobachtbare Beziehungen der Dinge wiederzugeben, solchen Beziehungen auch wirklich und richtig entsprechen.“*[61]

Doch diese Vollkommenheit muß nicht von Dauer sein. Viel radikaler als Helmholtz geht Hertz nämlich vom revisionsfähigen Charakter aller empirischen Erkenntnis aus. Während Helmholtz in seiner späteren Wissenschaftsauffassung in Erfahrungsaussagen die zwar nur noch approximativ gültige, aber immer besser bestätigte Geltungsbasis der theoretischen Erkenntnis gesehen hat,[62] stellt Hertz fest:

> *„was aus Erfahrung stammt, [kann] durch Erfahrung wieder vernichtet werden* [...]*.“*[63]

Da im Gegensatz zur Zulässigkeit über die Richtigkeit einer Theorie also nicht „für alle Zeiten“ entschieden werden kann, ist der Übereinstimmung von denknotwendigen und naturnotwendigen Folgen jeder absolute Geltungsanspruch genommen. Fragwürdig ist in diesem Zusammenhang, warum Hertz auch unrichtige Theorien (ebenso wie unrichtige Vorstellungen) als Bilder bezeichnet. Wovon sollen sie ein Bild sein, wenn sie in Widerspruch zur Welt stehen? Ihre logische Struktur ist – im Gegensatz zu Wittgenstein – keineswegs schon ein Bild der Welt.

Da Bilder nicht nur aus wesentlichen Beziehungen bestehen, können sie auch ins Leere gehen und zu „überflüssigen oder leeren“ Folgen führen.[64] Trotz dieser Bezeichnungsweise glaubt Hertz nicht, daß man auf sie verzichten könne. Er rechnet sie zwar zu den Bildelementen, die man „nach Willkür hinzuthun oder wegnehmen“ kann, hält sie aber für eine unvermeidbare Folge des geistigen Ursprungs und Charakters der Bilder.[65]

Daß es bis zu einem gewissen Grad der Willkür überlassen ist festzulegen, welche Aussagen für die empirische Überprüfung freigegeben werden sollen und welche nicht, dafür gibt Hertz mit dem von ihm selbst vorgestellten Bild der Mechanik das beste Beispiel: Zur mechanistischen Erklärung der unbelebten Natur führt er einen neuen Typus von träger Masse ein, als deren Eigenschaft er postuliert, unbeobachtbar zu sein.[66] Indem Hertz hier wie an anderen Stellen betont, daß diese verborgenen Massen lediglich mit blossem Auge nicht zu sehen seien, lässt er die Möglichkeit offen, ihre Eigenschaften durch physikalische Messungen auf indirekte Weise empirisch zu verifizieren. Zu diesen Eigenschaften gehören starre Verbindungen, die für unveränderliche Abstände und für „angenähert unveränderliche relative Beschleunigungen zwischen den Massen“ sorgen. *„Könnten wir“*, so schreibt er am Schluss seiner Einleitung, *„die Bewegung er Natur nur genau genug kennen, so wüssten wir sogleich, ob bei ihnen die relativen Beschleunigungen [...] angenähert unveränderlich sind“*.[67] Hertz spricht an dieser Stelle sogar

[61] Hertz (1894), S. 11.
[62] Helmholtz (1870), S. 22, Helmholtz (1878c), S. 186, Helmholtz (1878a), S. 233.
[63] Hertz (1894), S. 11.
[64] Hertz (1894), S. 2. Auf diese „unwesentlichen“ Beziehungen wendet Hertz den Ausdruck Hypothesen an: Hertz (1894), S. 30 f.
[65] Hertz (1894), S. 3.
[66] Hertz (1894), S. 30 f.
[67] Hertz (1894), S. 48.

vom „Entscheidungskampf“, der gegenüber anderen Naturerklärungen, die verborgenen Massen nicht annehmen, „ausgefochten“ werden müsse.[68]

Könnte man die vorerst nur zu Erklärungszwecken angenommenen verborgenen Massen empirisch verifizieren, so würden die ihnen entsprechenden theoretischen Aussagen umstandslos den Charakter wesentlicher Beziehungen erhalten. Hertz äußerte sich zu dieser Perspektive aber nur sehr zurückhaltend. Seine Bemerkungen schlossen auch nicht aus, daß die verborgenen Massen prinzipiell kein Gegenstand der Erfahrung sind.[69] Dessen ungeachtet war die nach seinem Tod in der Physik noch einige Zeit fortgesetzte Beschäftigung mit den verborgenen Massen von der Hoffnung bestimmt, aus der genaueren Untersuchung der elektrodynamischen Erscheinungen – insbesondere des sogenannten Äthers[70] – weitere Anhaltspunkte über sie zu erhalten.

Das Kriterium richtet sich also vor allem gegen unrichtige Beziehungen, die in Theorien enthalten sind und nicht durch Festlegung in unwesentliche verwandelt werden können.[71] Man sieht, daß das Kriterium weniger eine ernsthafte Einschränkung der Theorienvielfalt darstellt als eine Ermunterung, möglicherweise der Erfahrung widersprechende Aussagen vor empirischer Überprüfung zu schützen. Leistet ein findiger Geist den Denkgesetzen Genüge, muß er sich in seiner Kreativität beim Entwurf möglicher Naturtheorien durch das zweite Kriterium kaum noch gehindert sehen. Hätte Hertz es bei den beiden ersten Kriterien belassen, wäre er einer heute weithin verbreiteten liberalen Einstellung hinsichtlich der wissenschaftstheoretischen Bewertung von Theorien schon sehr nahe gekommen. Daran ändert der Umstand wenig, daß Hertz seine Diskussion der Theorienvielfalt – sei es aus Gründen seines mechanistischen Weltbildes, sei es, weil er seine Wissenschaftstheorie zufällig als Einleitung zu einem Buch über die Theorie der Mechanik verfaßt hat – vollständig auf mechanische Bilder der Welt beschränkt. Das Charakteristikum von bloß zulässigen und richtigen Bildern besteht darin, daß keines von ihnen beanspruchen kann, seinen Objekten näher zu sein als andere Bilder. Es sind äquivalente Darstellungen von Gegenständen. Umfaßt der Gegenstandsbereich die ganze Wirklichkeit – oder, wenn man so will: die Wahrheit – und besteht der einzige Zugang zu ihr in äquivalenten Darstellungen, dann kommt der Bildbegriff selbst zusammen mit dem realistischen Begriff einer unabhängig vom Bild bestehenden Wirklichkeit an sein Ende. Es macht keinen Sinn mehr, von einer Relation zu sprechen, wenn eines der beiden Beziehungsglieder, die Außenwelt, vollständig im anderen aufgegangen ist.

Erst auf dem Hintergrund dieses Szenariums wird die ganze Tragweite der einschneidenden Änderung deutlich, die Hertz mit dem dritten Kriterium der „Zweckmäßigkeit“ herbeiführt. Mit diesem Kriterium schränkt Hertz die Möglichkeitsbedingungen der Theorienvielfalt drastisch ein. Er ordnete sie einem Anpassungs- und Selektionsprozeß unter, in dem der Voraussageumfang von Theorien und ihr empirischer Gehalt

[68] Hertz (1894), S. 49.

[69] Hertz' Unsicherheit über den epistemologischen Status der verborgenen Massen wird von d'Agostino (1990), S. 60, hervorgehoben.

[70] Zu Hertz' Äthertheorie und ihrem Einfluß in der deutschen Physik vgl. Breunig (1988) und Grigorjan und Polak (1964).

[71] So wäre eine Theorie unrichtig, wenn eine ihrer Aussagen dem Energieerhaltungssatz widerspräche und trotzdem auf Erfahrung beziehbar wäre.

maximiert werden. Die Theorienvielfalt ist nicht als Dauerzustand, sondern als Anfangs- oder Zwischenzustand einer Entwicklung gedacht, die auf die Minimierung äquivalenter Darstellungen ausgerichtet ist, und die, wie Hertz mit Helmholtz annimmt, sich dem Ziel einer in ihrer Zeit allein gültigen (mechanistischen) Theorie annähern wird.

Die Maximierung des Voraussageumfangs nennt Hertz „Deutlichkeit“:

> *„Von zwei Bildern desselben Gegenstandes wird dasjenige das zweckmäßigere sein, welches mehr wesentliche Beziehungen des Gegenstandes widerspiegelt als das andere; welches, wie wir sagen wollen, das deutlichere ist.“*[72]

Der hier als tertium comparationis unterstellte metaphysische Gegenstandsbegriff bleibt in der Hertzschen Wissenschaftstheorie unbegründet. Theorien, die untereinander nur formal durch das Gebot der Widerspruchsfreiheit und nur mittels ihrer Voraussagen mit der (realistisch vorausgesetzten) Wirklichkeit verbunden sind, verfügen über kein Kriterium, mit dem ein Gegenstand intertheoretisch definiert werden kann. Für den von Hertz angenommenen Gegenstandsbegriff ist charakteristisch, daß ihm die Zusammenfassung verschiedener, auf einen Gegenstand bezogener Voraussagen in einem einzelnen Bild besser entspricht als das Vorkommen dieser Voraussagen in verschiedenen Bildern, solange andere Gegenstände außer acht gelassen werden.

Dieses theoretische Vereinheitlichungsgebot gilt nun aber nicht nur für spezielle Gegenstandsbereiche der Naturforschung, sondern für die Totalität der Naturerscheinungen wenigstens der unbelebten Natur überhaupt:

Bei der Erörterung der Zweckmäßigkeit müsse man *„den gesamten Umfang der heutigen physikalischen Erkenntnis ins Auge fassen.“*[73]

Nach wie vor sind für jede Gegenstandsebene verschiedene, vergleichbar deutliche Bilder möglich. Insbesondere kann das Ganze der unbelebten Natur, das durch Bilder der unterschiedlichen Gegenstandsbereiche gegeben ist, in einer allein durch das Kriterium der Widerspruchsfreiheit beschränkten Vielfalt von Bildern vorausgesagt werden. Der Geist muß zwar nach einem einheitlichen Bild der Natur streben, kann dies aber auf unterschiedliche Weise zustande bringen. So kann bei der Ableitung von Voraussagen von unterschiedlichen Prinzipien ausgegangen werden. Darüber hinaus dürfen unter den Voraussagen eine beliebige Anzahl von „unwesentlichen“ bzw. „leeren“ Aussagen vorkommen, die nicht den Anspruch erheben, beobachtbaren Sachverhalten zu entsprechen, und die den Anteil der Bilder ausmachen, der über die experimentell überprüfbare Wirklichkeit hinausweist.

Gegen diesen letzten Rest eines überschiessenden Bildgehaltes ist die Maximierung des empirischen Gehaltes gerichtet, die Hertz als „Einfachheit“ bezeichnet:

> *„Bei gleicher Deutlichkeit wird von zwei Bildern dasjenige zweckmäßiger sein, welches neben den wesentlichen Zügen die geringere Zahl überflüssiger oder leerer Beziehungen enthält, welches also das einfachere ist.“*[74]

[72] Hertz (1894), S. 2.
[73] Hertz (1894), S. 12, und S. 45 zur Beschränkung auf die unbelebte Natur.
[74] Hertz (1894), S. 2.

Obgleich Hertz davon spricht, daß es – im Gegensatz zur Zulässigkeit und Richtigkeit – keine eindeutige Entscheidung über die Zweckmäßigkeit gebe, ist er dennoch davon überzeugt, daß „im Laufe der Zeit schließlich die zweckmäßigsten [Bilder] gewonnen" würden.[75] Die in dieser Formulierung schon nahelegte Ersetzung der Bildervielfalt durch ein Bild der Wirklichkeit, das in seiner Zeit allein gültig ist, hat Hertz in der Tat für möglich gehalten. Von seinem eigenen Vorschlag für ein Bild der Mechanik sagt er:

> *„Ob die Zusammenstellung, welche ich* [...] *im Folgenden gebe, die einzig mögliche ist, oder ob es andere, vielleicht bessere mögliche gebe, bleibt dahingestellt."*[76]

Für Hertz steht fest, daß das in seiner Zeit zweckmäßigste Bild, wenn es denn möglich wäre, nur ein mechanisches sein könne. Das von ihm selbst vorgeschlagene, höchst komplizierte Bild würde sich erheblich vereinfachen, wenn sich alle leeren Folgen als wesentliche herausstellten. Implizit geht er von einer Übereinstimmung zwischen seinem Bild und einer hinter den Erscheinungen verborgenen mechanischen Struktur aus. Bei dieser Zielvorstellung scheint Hertz zu vergessen, daß aber auch das zweckmäßigste Bild nur ein Bild wäre und nicht mehr über ein vorausgesagtes Phänomen wüßte als ein Bild, das nur dieses Phänomen voraussagte. Nicht seine logische Struktur, sondern nur seine Prognosen stünden in Beziehung zur Welt. Und unausweichlicher als jedes andere richtige Bild könnte schließlich das zweckmäßigste durch den Fortgang der empirischen Forschung seine Richtigkeit verlieren.

Schränken die Kriterien der Zweckmäßigkeit die Vielfalt der zulässigen und richtigen Bilder so weitgehend ein, daß ihnen die relativierende Gleichberechtigung genommen ist, so beläßt es die übriggebliebenen im Status eines revisionsfähigen Wissens, das die vom Geist für immer abgeschiedene Welt nur zeitweise einfacher erfaßt.

1.4 Schluß

Im Verhältnis zu Helmholtz hat sich Hertz bereits viel deutlicher vom Ziel einer vollständigen (mechanistischen) Naturerklärung, das von beiden weiterhin als Erkenntnisideal anerkannt wird, entfernt. Während Helmholtz das berechtigte Nebeneinanderbestehen verschiedener Theorien eines Phänomenbereiches durch die Abbildungsbeziehung prinzipiell ausgeschlossen hatte, besteht der ganze Gegenstand der Hertzschen Wissenschaftstheorie gerade darin, dieses Nebeneinander zumindest für den gegenwärtigen Forschungsstand zu rechtfertigen.

Im Verhältnis zur Wirklichkeit, die von beiden realistisch vorausgesetzt wird, hat ein tiefgreifender Wahrheitsverlust stattgefunden, der bei Helmholtz beginnt und in Hertz' Wissenschaftstheorie seine Fortsetzung findet. Anfänglich waren Theorien keine Bilder der Welt, weil sie selbst in ihre Objekte eindrangen und so in den Besitz der Wahrheit kamen. Mit der Einführung des Bildbegriffes geraten wissenschaftliche Theorien in Distanz zur Welt: Sie sind nur noch Abbild einer gesetzlichen Struktur, der kausalen

[75] Hertz (1894), S. 3.
[76] Hertz (1894), S. XXVI.

Beziehungen zwischen realen Objekten (Helmholtz steht der späteren Abbildtheorie der Bedeutung von Wittgenstein viel näher als Hertz). Was bei Helmholtz selbstverständliche Folge dieses Wissens war, die Voraussage zukünftiger Phänomene, wird bei Hertz zum Rest der Wahrheit, die die Naturforschung über die Welt wissen kann. Die Struktur dieses Wissens muß nicht mehr wie bei Helmholtz eindeutig sein; verschiedene Bilder eines Gegenstandsbereiches, der die gesamte (unbelebte) Natur umfassen kann, sind jetzt möglich und relativieren wechselseitig ihre Geltung.

Nimmt man nicht die den beiden Physikern vorangegangene Tradition zum Maßstab, sondern die nach ihnen einsetzende Entwicklung der Wissenschaftsauffassung, so scheint Helmholtz, grob gesprochen, allerdings der Gegenwart in einer Hinsicht näher zu stehen. Er hat viel stärker als Hertz der heute weitgehend akzeptierten Beseitigung des Unterschiedes zwischen apriori vorausgesetzten Denkgesetzen und den revisionsfähigen Sätzen der Erfahrung vorgearbeitet. Bei ihm verliert das Denken seine Funktion als Sicherungsinstanz von Aussagen und gerät unter die unsicheren Bedingungen der Erfahrung. Gegen diesen Geltungsverlust setzt Helmholtz einen unhintergehbaren Rest an Realitätsannahmen, der den Abbildungscharakter von Gesetzen legitimieren soll. Umgekehrt sind die Verhältnisse in dieser Hinsicht bei Hertz, der – sieht man von den ontologischen Realitätsannahmen zur Begründung der Zweckmäßigkeit ab – keine absolute Stütze für Geltungsansprüche mehr in der Wirklichkeit anerkennt. Ihm gelten die (allerdings nur noch unscharf bestimmten) Gesetze des reinen Denkens absolut und in ihnen findet er gegenüber der Bildervielfalt einen aktuell wirksamen einheitlichen Bezugspunkt.

Die nachfolgende wissenschaftstheoretische Entwicklung führt die beiden Tendenzen zur Relativierung von Geltungsansprüchen, die im Verhältnis von Helmholtz und Hertz gleichsam komplementär gegenüberstehen, zusammen: Sowenig sich Denken von Erfahrung freihalten ließ, sowenig blieb Erfahrung ohne willkürlich gesetzte theoretische Vorannahmen verfügbar.

Meine Untersuchung hat mit dem Bildbegriff einen Aspekt angesprochen, der zwar für die Wissenschaftstheorie der beiden Naturwissenschaftler von großer Bedeutung ist, aber in ihrem jeweiligen Gesamtwerk nur bedingt Gewicht hat. Daß Helmholtz und Hertz unter dem Gesichtspunkt des Geltungsanspruches der wissenschaftlichen Erkenntnis überhaupt in einer Entwicklungslinie stehen, ist Ausdruck der Verwandtschaft ihrer Ansätze. Die Nähe würde deutlicher, wenn die Bezüge, die zwischen ihrer Wissenschaftstheorie und ihren fachwissenschaftlichen Arbeiten bestehen, berücksichtigt würden. [77] So kann sich Hertz mit seinem Konzept der verborgenen Massen unmittelbar auf Helmholtz beziehen.

Doch kommt der Wissenschaftstheorie auch eine Funktion zu, die ohne Kontext konkreter Forschungen verständlich ist und über ihn hinausweist. Es ist die von mir in den Vordergrund gerückte eigenständige wissenschaftstheoretische Verwendung des Bildbegriffs, mit der die Grenzen des Vergleichs hervortreten. Grundlegende Differenzen bestehen zwischen Helmholtz' induktivistischer und Hertz' deduktivistischer Wissenschaftsauffassung, zwischen der von Helmholtz ausgeschlossenen und der von Hertz zugelassenen Theorienvielfalt, zwischen dem von Helmholtz postulierten Wirklichkeitsgehalt und der

[77] Vgl. Mulligan (1987), Buchwald (1994a) und d'Agostino (1971).

von Hertz angenommenen Wirklichkeitsleere von mechanischen Prinzipien und Naturgesetzen und schließlich zwischen dem erkenntniserzeugenden Vermögen der Erfahrung bei Helmholtz und ihrem erkenntnisvernichtenden Charakter bei Hertz.

1.5 Literatur

Breunig, H. (1988): *Zur Hertzschen Mechanik. Ursprung ihrer Grundkonzeption und deren Bedeutung für die Entwicklung der Physik.* (Dissertation) Frankfurt/Main.

Buchwald, J. (1990): The Background to Hertz's Experiments in Electrodynamics. In: Levere, T. und S. William (Hrsg.) (1990): *Nature, Experiment, and Science.* Dordrecht, Boston, London, S. 275–306.

Buchwald, J. (1994a): Electrodynamics in Context: Object States, Laboratory Practice, and Anti-Romanticism. In: Cahan (Hrsg.) (1994).

Buchwald, J. (1994b): *The Creation of Scientific Effects.* Chicago.

Cahan, D. (1994): Helmholtz and the Civilizing Power of Science. In: Cahan (Hrsg.) (1994).

Cahan, D. (Hrsg.) (1994): *Hermann von Helmholtz and the Foundation of Nineteenth-Century Science.* Berkley, Los Angeles, London.

d'Agostino, S. (1971): Hertz and Helmholtz on Electromagnetic Waves. In: *Scientia* **106** (1971) S. 637–648.

d'Agostino, S. (1990): Boltzmann and Hertz on the Bild-Conception of Physical Theory. In: *Hist. of Sc.* **28** (1990) S. 380–398.

Diemer, A. (1968): Die Begründung des Wissenschaftscharakters der Wissenschaft im 19. Jahrhundert – Die Wissenschaftstheorie zwischen klassischer und moderner Konzeption. In: Diemer, A. (Hrsg.): *Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaftstheorie im 19. Jahrhundert.* Meisenheim am Glan.

Erdmann, B. (1921): *Die philosophischen Grundlagen von Hermann von Helmholtz' Wahrnehmungstheorie.* Abh. Preuss. Akad. der Wiss., phil.-hist. Klasse. Berlin.

Grigorjan, A. T. und L. S. Polak (1964): Die Grundideen der Mechanik von Heinrich Hertz. In: Strube, I. und H. Wussing (Hrsg.): *Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaft, Technik und Medizin.* Leipzig, S. 69–101.

Hacker, P. M. (1972): *Insight and Illusion: Wittgenstein on Philosophy and the Metaphysics of Experience.* Oxford.

Hatfield, G. (1990): *The Natural and the Normal. Theories of Spatial Perception from Kant to Helmholtz.* Cambridge (Mass.), London.

Hatfield, G. (1994): Helmholtz and Classicism: The Science of Aesthetics and the Aesthetics of Science. In: Cahan (Hrsg.) (1994).

Heidelberger, M. (1994): Force, Law, and Experiment: The Evolution of Helmholtz's Philosophy of Science. In: Cahan (Hrsg.) (1994).

Helmholtz, Herrmann von (1847): *Über die Erhaltung der Kraft.* Leipzig (Ostwalds Klassiker der exacten Wissenschaften; Nr. 1) 1889.

Helmholtz, Herrmann von (1852): *Über die Natur der menschlichen Sinnesempfindungen.* (Habilitationsvortrag). In: Helmholtz (1882 ff), Bd. 2, S. 591 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1853): Über Goethes naturwissenschaftliche Arbeiten. In: Helmholtz (1884), Bd. 1, S. 23 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1855): Über das Sehen des Menschen. In: Helmholtz (1884), Bd. 1, S. 85 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1856 ff.): *Handbuch der physiologischen Optik.* 1. Lieferung (S. 1–192): 1856; 2. Lieferung (bis S. 432): 1860; 3. Lieferung (bis S. 874): 1867. Leipzig (1. Auflage) 1867.

Helmholtz, Herrmann von (1862): Über das Verhältniss der Naturwissenschaften zur Gesammtheit der Wissenschaften. In: Helmholtz (1884), Bd. 1, S. 157 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1868): Die neueren Fortschritte in der Theorie des Sehens. In: Helmholtz (1884), Bd. 1, S. 265 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1869): Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft. In: Helmholtz (1884), Bd. 1, S. 157 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1870): Über den Ursprung und die Bedeutung der geometrischen Axiome. In: Helmholtz (1884), Bd. 2, S. 1 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1874a): „Kritisches". Vorwort zum zweiten Teil des ersten Bandes von W. Thomson und P. G. Tait: *Handbuch der theoretischen Physik.* Autorisierte deutsche Übersetzung von H. Helmholtz und G. Weretheim. Braunschweig 1874. Unter dem Titel „Induktion und Deduktion" auch enthalten in: Helmholtz (1884), Bd. 2, S. 413 ff. Ich zitiere nach dieser Ausgabe.

Helmholtz, Herrmann von (1874b): Vorwort zu John Tyndall: Fragmente der Naturwissenschaft. Braunschweig 1874. Unter dem Titel „Über das Streben nach Popularisierung der Wissenschaft" auch enthalten in: Helmholtz (1884), Bd. 2, S. 422 ff. Ich zitiere nach dieser Ausgabe.

Helmholtz, Herrmann von (1878a): Die Thatsachen in der Wahrnehmung mit drei Beilagen. In: Helmholtz (1884), Bd. 2, S. 213 ff. (Rede) und S. 387 ff. (3 Beilagen); die 3. Beilage ist ein Auszug aus: Helmholtz (1878b) und wird nach diesem Text zitiert.

Helmholtz, Herrmann von (1878b): Über den Ursprung und Sinn der geometrischen Sätze. Antwort gegen Herrn Prof. Land. In: Helmholtz (1882 ff), Bd. 2, S. 640 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1878c): *Das Denken in der Medicin.* 2. neu durchgearbeitete Auflage. Berlin. Auch enthalten in: Helmholtz (1884), Bd. 2, S. 165 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1882 ff): *Wissenschaftliche Abhandlungen.* Leipzig. 3 Bde. (Bd. 1, 1882; Bd. 2, 1883; Bd. 3, 1895).

Helmholtz, Herrmann von (1884a): *Vorträge und Reden.* 2 Bde. Braunschweig (5. Auflage) 1903.

Helmholtz, Herrmann von (1884b): Studien zur Statik monocyklischer Systeme. In: Helmholtz (1882 ff.), Bd. 3, S. 119 ff., S. 163 ff. und S. 173 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1885 ff.): *Handbuch der Physiologischen Optik.* 2. umgearbeitete Auflage. (1. Lieferung (S. 1–80): 1885; 2. und 3. Lieferung (bis S. 240): 1886;

4. Lieferung (bis S. 320): 1887; 5. Lieferung (bis S. 400): 1889; 6. und 7. Lieferung (bis S. 560): 1892; 8. Lieferung (bis S. 640): 1894; Schlusslieferung: 1895). Hamburg und Leipzig 1986.

Helmholtz, Herrmann von (1892): Goethes Vorahnungen kommender naturwissenschaftlicher Ideen. In: Helmholtz (1884), Bd. 2, S. 335 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1897 ff.): *Vorlesungen über theoretische Physik.* Hrsg. von A. König et al. 6 Bde. Leipzig.

Helmholtz, Herrmann von (1891): Zum 31. August 1891. In: *Heinrich Hertz: Gesammelte Werke, Vol. 1.* Leipzig 1895, S. 360 ff.

Helmholtz, Herrmann von (1894): *Die Prinzipien der Mechanik.* Darmstadt 1963.

Hörz, H. und S. Wollgast (1971): *Einleitung zu: Hermann von Helmholtz, Philosophische Vorträge und Aufsätze.* Berlin.

König, G. (1968): Der Wissenschaftsbegriff bei Helmholtz und Mach. In: Diemer, A. (Hrsg.): *Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaftstheorie im 19. Jahrhundert.* Meisenheim am Glan.

Koenigsberger, Leo (1902): *Hermann von Helmholtz.* 3 Bde. Braunschweig.

Kuczera, J. K. (1983): Zur philosophischen Einschätzung des Physikers Heinrich Hertz. In: *Wissenschaftliche Zeitschrift der Humboldt Universität zu Berlin, Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe* **32** (1983), S. 313–316.

Majer, U. (1985): Hertz, Wittgenstein und der Wiener Kreis. In: Dahms, H.-J. (Hrsg.): *Philosophie, Wissenschaft, Aufklärung: Beiträge zur Geschichte und Wirkung des Wiener Kreises.* Berlin, S. 40–66.

Meyering, T. C. (1989): *Historical Roots of Cognitive Science.* Dordrecht.

Mulligan, J. F. (1987): The Influence of Hermann von Helmholtz on Heinrich Hertz's Contributions to Physics. In: *Am. J. Phys.* **55** (1987).

Schiemann, Gregor (1994): Die Hypothetisierung des Mechanismus. In: Krüger, L. (Hrsg.): *Universalgenie Helmholtz.* Berlin.

Schiemann, Gregor (1997): *Wahrheitsgewissheitsverlust. Hermann von Helmholtz' Mechanismus im Anbruch der Moderne. Eine Studie zum Übergang von klassischer zu moderner Naturphilosophie.* Darmstadt. Englische Übersetzung: Hermann von Helmholtz's Mechanism: The Loss of Certainty. A Study on the Transition from Classical to Modern Philosophy of Nature. Dordrecht 2008.

Schiemann, Gregor (1998): The Loss of World in the Image. Origin and Development of the Concept of Image in the Thought of Hermann von Helmholtz and Heinrich Hertz. In: Baird, D. et al. (Hrsg.): *Heinrich Hertz. Classical Physicist, Modern Philosopher.* Boston Studies in the Philosophy of Science. Dordrecht.

Schlüter, D. und W. Hogrebe (1971): Art. „Bild". In: Ritter, J. und K. Gründer (Hrsg.): *Historisches Wörterbuch der Philosophie.* Darmstadt.

Schnädelbach, H. (1983): *Philosophie in Deutschland 1831–1933.* Frankfurt/Main.

Turner, R. S. (1994): *In the Eye's Mind.* Princeton.

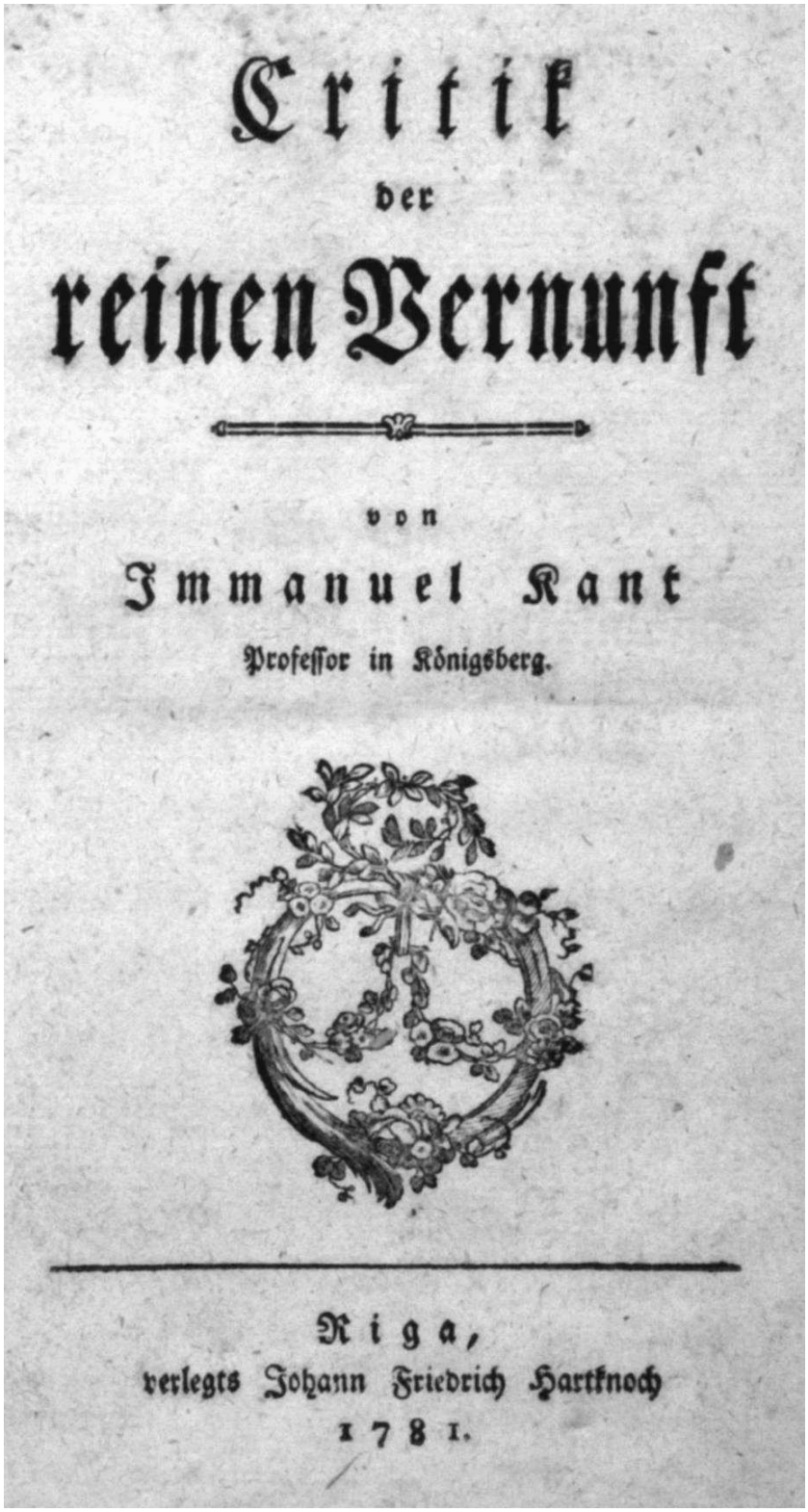


Abbildung 2.1:
Kant, Immanuel: *Kritik der reinen Vernunft.*
Riga: Johann Friedrich Hartknoch 1781.

Heinrich Hertz und das Konzept des mathematischen Modells

Claus Peter Ortlieb (Hamburg)

Abstract: Heinrich Hertz and the Concept of the Mathematical Model

The introduction to Heinrich Hertz' last work *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt* is a milestone on the long way from Galileis opinion the "book of nature is written in geometric symbols" to the modern concept of the mathematical model. Hertz seems to have been the first, who has raised into consciousness the significance of the scientific development in the 19th century for the role of mathematics in the knowledge of nature, and who has expressed the consequences considerably: There are different correct mathematical descriptions (and not the only one) of a field of physics, for example. Because of this, further criteria are to be added for the choice "of the inner pretended pictures and symbols of the outer objects" (in today's language: the mathematical models). Hertz designates as the three most important ones: Correctness, admissibility, usefulness. As an implication, mathematics and substancial sciences are falling apart, with consequences for the limits of the knowledge of nature, too. More than one hundred years later, they still are ignored frequently.

2.1 Der Modellbegriff

Der Begriff des *mathematischen Modells* und die damit verbundene Methode der *mathematischen Modellbildung* ist in erkenntnistheoretischer und wissenschaftshistorischer Hinsicht schillernd. Sobald dieses Konzept zur Verfügung steht, lässt sich sagen, dass mathematische Modellierung das ist, was die neuzeitliche mathematische Naturwissenschaft seit Galilei betreibt und worin sie sich im Übrigen vom antiken oder mittelalterlichen Naturverständnis unterscheidet, womit sich also gerade die historisch spezifische Form der Naturerkenntnis seit dem beginnenden Aufstieg der bürgerlichen Gesellschaft charakte-

risieren lässt.[1] Auf der anderen Seite muss aber festgestellt werden, dass die neuzeitliche Naturwissenschaft dieses Konzept fast dreihundert Jahre lang nicht kannte; aus heutiger Sicht handelte sie danach, nur wusste sie es nicht, weil sie es nicht wirklich brauchte.

Als eigenständiger *Begriff* ist das mathematische Modell ein Kind des ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts. Er ist letztlich die Voraussetzung dafür, dass sich die mathematisch-naturwissenschaftliche Methode über ihre Ursprünge in der Physik hinaus in viele andere Wissenschaften ausbreiten konnte und manche von ihnen gewissermaßen in Besitz nahm – ob nun zu deren Vor- oder Nachteil, bleibe hier dahingestellt. Wie so oft, entwickelte sich das Neue aus einer Krise, nämlich der, in die die mathematische Naturwissenschaft – und mit ihr die Mathematik – durch den Fortschritt geriet, den sie im 19. Jahrhundert erfuhr.

Heinrich Hertz kann zwar nicht als *Erfinder* des Modellbegriffs bezeichnet werden, weil derart fundamentale, die Wissenschaft umwälzende Begriffe nicht einfach erfunden werden – schon gar nicht von Einzelnen –, sondern aus langwierigen, oft quälenden Prozessen hervorgehen. Aber er war einer seiner, wenn nicht sogar *der* Geburtshelfer.[2] Die Einleitung zu seinem letzten, erst nach seinem Tode erschienenen Werk „Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt“ lässt Heinrich Hertz mit den folgenden Worten beginnen:

> *„Es ist die nächste und in gewissem Sinne wichtigste Aufgabe unserer bewußten Naturerkenntnis, daß sie uns befähige, zukünftige Erfahrungen vorauszusehen, um nach dieser Voraussicht unser gegenwärtiges Handeln einrichten zu können. Als Grundlage für die Lösung jener Aufgabe der Erkenntnis benutzen wir unter allen Umständen vorangegangene Erfahrungen, gewonnen durch zufällige Beobachtungen oder durch absichtlichen Versuch. Das Verfahren aber, dessen wir uns zur Ableitung des Zukünftigen aus dem Vergangenen und damit zur Erlangung der erstrebten Voraussicht stets bedienen, ist dieses: Wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, daß die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände. Damit diese Forderung überhaupt erfüllbar sei, müssen gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein zwischen der Natur und unserem Geiste. Die Erfahrung lehrt uns, daß die Forderung erfüllbar ist und daß also solche Übereinstimmungen in der Tat bestehen. Ist es uns einmal geglückt, aus der angesammelten bisherigen Erfahrung Bilder*

[1] Zur Genese der damit verbundenen funktionalen Denkform und zu ihrem Zusammenhang mit der spezifisch bürgerlichen Vergellschaftung, also der über Warenproduktion und Tausch bzw. Geld, siehe Greiff (1976), Ortlieb (1998), Bockelmann (2004) und die dort zitierte Literatur.

[2] So sehen es auch Neunzert/Rosenberger (1997, 147 f.), denen ich den ersten Hinweis auf das hier behandelte Thema verdanke. Ähnlich Cassirer (1994, 110), der zwar nicht vom Modellbegriff, wohl aber von der Ende des 19. Jahrhunderts zentral werdenden Bedeutung der mathematisch-symbolischen „Bilder“ für die Physik spricht: „Der erste große Physiker, der diese Wendung nicht nur tatsächlich vollzogen hat, sondern der sich auch ihrer philosophischen Bedeutung in vollem Maße bewußt war, ist Heinrich *Hertz* gewesen. Mit ihm beginnt auch in der Methodenlehre der Physik eine neue Phase.“

von der verlangten Beschaffenheit abzuleiten, so können wir an ihnen, wie an Modellen, in kurzer Zeit die Folgen entwickeln, welche in der äußeren Welt erst in längerer Zeit oder als Folgen unseres eigenen Eingreifens auftreten werden; wir vermögen so den Tatsachen vorauszueilen und können nach der gewonnenen Einsicht unsere gegenwärtigen Entschlüsse richten. Die Bilder, von welchen wir reden, sind unsere Vorstellungen von den Dingen; sie haben mit den Dingen die eine wesentliche Übereinstimmung, welche in der Erfüllung der genannten Forderung liegt, aber es ist für ihren Zweck nicht nötig, daß sie irgend eine weitere Übereinstimmung mit den Dingen haben. In der Tat wissen wir auch nicht, und haben auch kein Mittel zu erfahren, ob unsere Vorstellungen von den Dingen mit jenen in irgend etwas anderem übereinstimmen, als allein in eben jener einen fundamentalen Beziehung.“[3]

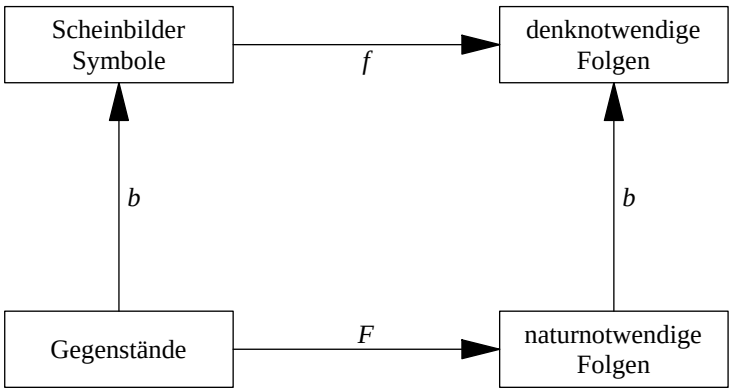


Abbildung 2.2:
Zum Hertz'schen Modellbegriff

„Die eine fundamentale Beziehung“ erinnert an ein kommutierendes Diagramm, wie es in der modernen Algebra gebräuchlich ist (vgl. Abbildung 2.2).[4] Sie besteht in der Gleichung

$$f \circ b = b \circ F \ .$$

Gegenstand der Naturerkenntnis ist die (unbekannte) Abbildung F, wogegen f sich aus prinzipiell zugänglichen Operationen der Mathematik und Logik zusammensetzt. Die eigentliche Modellbildung liegt in der Wahl der Abbildung b, also der Darstellung der Gegenstände durch die „inneren Scheinbilder oder Symbole“, von denen Hertz spricht

[3] Hertz (1894, 1 f.), Hervorhebungen C.P.O.

[4] Es wäre allerdings ein Missverständnis, hierin ein „mathematische Modell“ des Modellbegriffs zu sehen, da keine der drei enthaltenen Abbildungen hinsichtlich ihrer Bedeutung mathematisch präzise gefasst ist.

(das dafür heute gebräuchliche Wort „Modell“ verwendet er nur als Metapher) und deren Beziehung zu den Gegenständen in der durch Abbildung 2.2 beschriebenen „einen fundamentalen Beziehung“ und *in sonst nichts* bestehen soll. Dieser Sprachgebrauch markiert erkenntnistheoretisch eine Distanz zu den Anfängen der Naturwissenschaft, repräsentiert etwa durch Galilei oder Newton, die im Folgenden ein wenig beleuchtet werden soll, bevor ich zu den Konsequenzen des Hertz'schen Modellbegriffs komme.

2.2 Die Anfänge: Identität von Mathematik und Natur

Der „mathematische Blick“ auf die Welt ist knapp 300 Jahre älter als der Modellbegriff, er macht den Kern der wissenschaftlichen Revolution aus, mit der gewissermaßen die Neuzeit eingeläutet wurde. Zu nennen ist hier zuerst Galileo Galilei, über den Alexandre Koyré schreibt:

> *„Wir kennen die grundlegenden Auffassungen und Prinzipien zu gut, oder richtiger, wir sind zu sehr an sie gewöhnt, um die Hürden, die es zu ihrer Formulierung zu überwinden galt, richtig abschätzen zu können. Galileis Begriff der Bewegung (und auch der des Raumes) erscheint uns so „natürlich“, daß wir vermeinen, ihn selbst aus Erfahrung und Beobachtung abgeleitet zu haben. Wenngleich wohl noch keinem von uns ein gleichförmig verharrender oder sich bewegender Körper je untergekommen ist – und dies schlicht deshalb, weil so etwas ganz und gar unmöglich ist. Ebenso geläufig ist uns die Anwendung der Mathematik auf das Studium der Natur, so daß wir kaum die Kühnheit dessen erfassen, der da behauptet: „Das Buch der Natur ist in geometrischen Zeichen geschrieben.“ Uns entgeht die Waghalsigkeit Galileis, mit der er beschließt, die Mechanik als Zweig der Mathematik zu behandeln, also die wirkliche Welt der täglichen Erfahrung durch eine bloß vorgestellte Wirklichkeit der Geometrie zu ersetzen und das Wirkliche aus dem Unmöglichen zu erklären.“*[5]

Die neuzeitliche Naturerkenntnis ist mathematischer Art, das genau war – vor 400 Jahren – an ihr revolutionär. Die Mathematik, die dazu freilich auch erst eine andere werden musste, ist hier kein bloßes Hilfsmittel, auf das zur Not auch verzichtet werden könnte, sondern Mathematik und Physik bilden über zwei Jahrhunderte hinweg eine Einheit.

Die andere große Erfindung der neuzeitlichen Naturwissenschaft, die oft an erster Stelle genannt wird, das *Experiment* also, hängt mit dem mathematischen Zugang zur Welt eng zusammen: Experimente bestehen darin, einen Ausschnitt der Wirklichkeit im Labor an die mathematischen Idealbedingungen anzupassen, diese also *herzustellen* und Abweichungen von ihnen (so genannte Störfaktoren) weitestgehend auszuschalten. Hier liegt ein fundamentaler Unterschied zur einfachen, nicht eingreifenden Beobachtung mit bloßem Auge oder auch qua statistischer Erhebung.[6]

[5] Koyré (1998, 73)

[6] Viele methodische Fehler beim Einsatz von Mathematik in nichtexperimentellen Wissenschaften resultieren daraus, dass dieser Unterschied nicht beachtet wird.

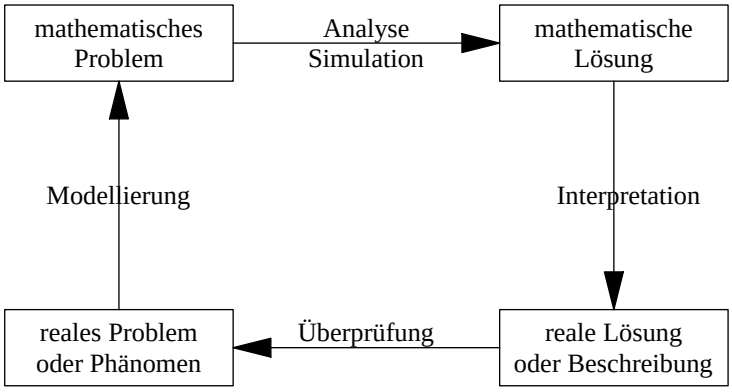


Abbildung 2.3:
Der Modellierungsprozess

Es macht daher auch keinerlei Schwierigkeiten, das allgemeine Schema des Modellierungsprozesses der Abbildung 2.3,[7] obwohl sich dieses erst im Laufe des 20. Jahrhunderts herausgebildet hat, an Galileis in den *Discorsi* (Galilei 1638 / 1995) beschriebenem Vorgehen bei der Herleitung z. B. der beiden nach ihm benannten Fallgesetze zu exemplifizieren:

1. Es sollte sich inzwischen herumgesprochen haben, dass Galilei sein erstes Fallgesetz (*Alle Körper fallen gleich schnell*) nicht durch die „berühmten" Fallversuche am schiefen Turm von Pisa bewiesen hat, auch wenn diese Legende immer noch in einigen Physikbüchern herumspukt.[8] Galileis Schriften sagen etwas anderes. Er führt einen *mathematischen Beweis*: Unter der (von ihm nicht explizit genannten) Voraussetzung, dass die Fallgeschwindigkeit von der Gestalt des schweren Körpers nicht abhängt, lässt sich – wie in Abbildung 2.5 dargestellt – die Annahme unterschiedlicher Fallgeschwindigkeiten zu einem Widerspruch führen: Die aus zwei unterschiedlichen Massen zusammgesetzte größte Masse hätte nicht die größte Geschwindigkeit.[9]

[7] Ausgangspunkt ist ein reales Problem oder Phänomen. Zu diesem wird ein mathematisches Problem formuliert, das mit Methoden der Mathematik und neuerdings vielfach unter Verwendung des Computers gelöst wird. Die Lösung wird hinsichtlich ihrer realen Bedeutung interpretiert und anschließend im Experiment oder durch den Vergleich mit Beobachtungsdaten überprüft. Man beachte die Unterschiede der beiden auf den ersten Blick ähnlichen Abbildungen 2.2 und 2.3: Letztere beschreibt die Tätigkeiten, die im Modellierungsprozess auszuführen sind, erstere dagegen ein Kriterium an das fertige Modell

[8] Es handelt sich um eine Erfindung, die erstmals 50 Jahre nach dem angeblichen Geschehen aufkam und über fast 300 Jahre hinweg in der Wissenschaftsgeschichtsschreibung immer weiter ausgeschmückt wurde zu einem Mythos des Empirismus, mit dem gezeigt werden sollte, dass die neuzeitliche Wissenschaft im Gegensatz zum „finsteren Mittelalter" die „Tatsachen" sprechen lässt. Vgl. Koyré (1998, 123–134).

[9] Galilei (1638/1995, 57/58)

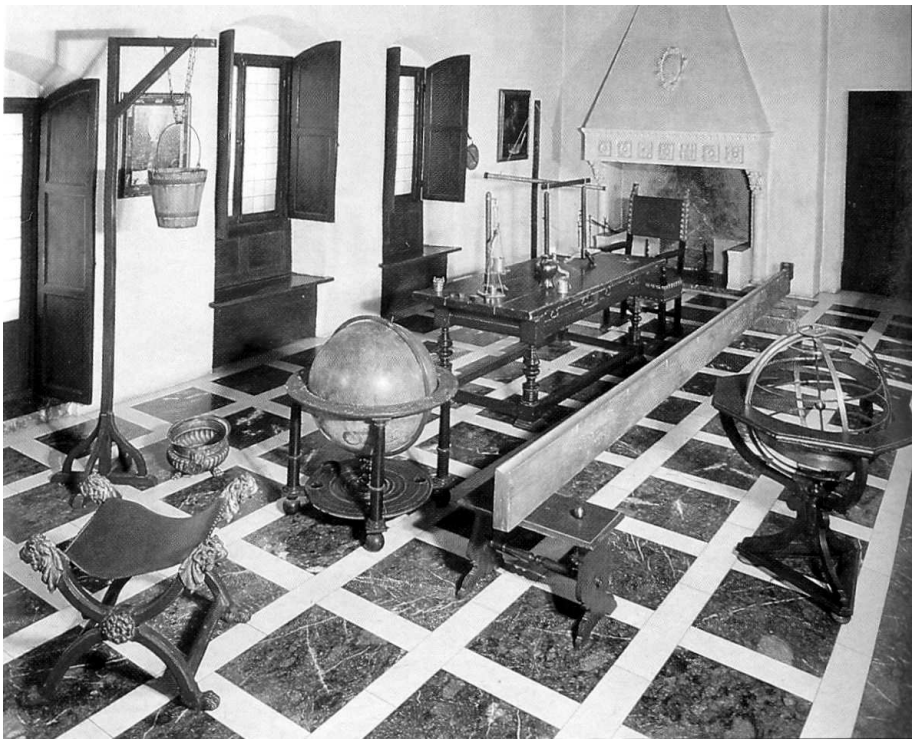


Abbildung 2.4:
Nachbildung von Galileo Galileis Arbeitsraum im Deutschen Museum
mit der Fallrinne im Zentrum

Die dabei von Galilei eher stillschweigend gemachte Voraussetzung ist in moderner Terminologie eine typische vereinfachende *Modellannahme*, wie sie notwendig gemacht werden muss, weil sich anders die Wirklichkeit nicht mathematisch beschreiben lässt. Das Fallgesetz, das er tatsächlich bewiesen hat, lautet denn auch genauer: *Wenn von der Gestalt der Körper abstrahiert werden kann, fallen alle Körper gleich schnell.* Die Überprüfung dieses Gesetzes im Experiment muss daher eine Situation herstellen, in der es auf die Gestalt der Körper, und damit auf den Luftwiderstand nicht ankommt. Solche Experimente werden typischerweise im Vakuum gemacht, und nur dort lässt sich die Gültigkeit des ersten Fallgesetzes auch nachweisen.

2. Noch deutlicher entspricht Galileis Vorgehen beim zweiten Fallgesetz (*Beim Fall aus der Ruhelage verhalten sich die zurückgelegten Wege wie die Quadrate der Zeiten*) dem Schema der Abbildung 2.3. Die Empirie kommt zunächst nur insoweit ins Spiel, als Galilei nach einer Bewegung sucht, bei der die Geschwindigkeit ständig zunimmt, und führt dann als die „allereinfachste“ Bewegung dieser Art die *gleichförmig beschleunigte* Bewegung ein, die „in gleichen Zeiten gleiche

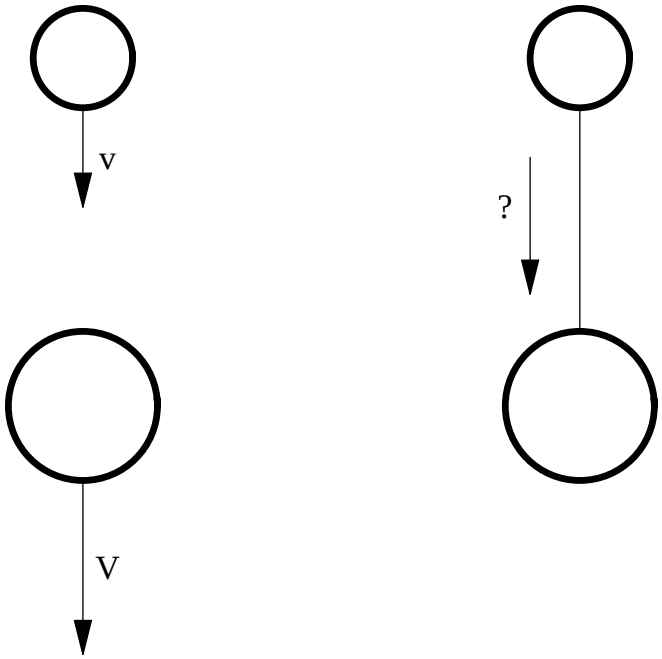


Abbildung 2.5:
Galileis Beweis des ersten Fallgesetzes

Geschwindigkeitszuwüchse erteilt“,[10] wiederum eine typische Modellannahme, aus der er dann sein zweites Fallgesetz auf rein mathematischem Wege ableitet.[11] Und auch hier folgt die Beschreibung von Experimenten (an der schiefen Ebene[12]) erst anschließend.

Die von mir hier vollzogene Subsumtion von Galileis Vorgehen unter den Modellierungsprozess der Abbildung 2.3 stellt allerdings einen Anachronismus dar: Zwar entspricht die Logik seines Vorgehens dem allgemeinen Schema, aber Galilei selber hat so nicht gedacht, wie etwa an den Worten deutlich wird, mit denen er die gleichförmig beschleunigte Bewegung einführt:

> *„Bisher war die gleichförmige Bewegung behandelt worden, jetzt gehen wir zur beschleunigten Bewegung über. Zunächst muss eine der natürlichen Erscheinung genau entsprechende Definition gesucht und erläutert werden. Obgleich es durchaus gestattet ist, irgend eine Art der Bewegung beliebig zu ersinnen und die damit zusammenhängenden Ereignisse zu betrachten ..., so haben wir uns dennoch entschlossen, diejenigen Erscheinungen zu betrachten, die*

[10] Galilei (1638/1995, 146-148)
[11] Galilei (1638/1995, 148/149). Ohne den Integralbegriff zur Verfügung zu haben, benutzt er im betrachteten Spezialfall, dass der Weg das Integral der Geschwindigkeit ist.
[12] Galilei (1638/1995, 162)

> *bei den frei fallende Körpern in der Natur vorkommen, und lassen die Definition der beschleunigten Bewegung zusammenfallen mit dem Wesen einer natürlich beschleunigten Bewegung. ...*
> *Wenn ich daher bemerke, dass ein aus der Ruhelage von bedeutender Höhe herabfallender Stein nach und nach neue Zuwüchse an Geschwindigkeit erlangt, warum soll ich nicht glauben, dass solche Zuwüchse in allereinfachster, Jedermann plausibler Weise zu Stande kommen? Wenn wir genau aufmerken, werden wir keinen Zuwachs einfacher finden, als denjenigen, der in immer gleicher Weise hinzutritt. Das erkennen wir leicht, wenn wir an die Verwandschaft der Begriffe der Zeit und der Bewegung denken: denn wie die Gleichförmigkeit der Bewegung durch die Gleichheit der Zeiten und Räume bestimmt und erfasst wird ..., so können wir durch ebensolche Gleichheit der Zeittheile die Geschwindigkeitszunahmen als einfach zu Stande gekommen erfassen: mit dem Geiste erkennen wir diese Bewegung als einförmig und in gleicher Weise stetig beschleunigt, da zu irgend welchen gleichen Zeiten gleiche Geschwindigkeitszunahmen sich addiren.“*[13]

Der *Logik* nach geht es in dieser Begründung ausschließlich um die Einfachheit: "warum soll ich nicht glauben, dass solche Zuwüchse in allereinfachster, Jedermann plausibler Weise zu Stande kommen?“ Aber die dahinter liegende *Vorstellung* geht viel weiter: „so haben wir uns dennoch entschlossen, diejenigen Erscheinungen zu betrachten, die bei den frei fallende Körpern in der Natur vorkommen, und lassen die Definition der beschleunigten Bewegung zusammenfallen mit dem Wesen einer natürlich beschleunigten Bewegung.“ Es ist Galileis feste Überzeugung, dass die einfachste Bewegung zugleich die natürliche ist, oder anders gesagt: In der Natur kommt vor, was der mathematischen Behandlung zugänglich ist, die Natur *ist* mathematisch, und daher ist umgekehrt Mathematik immer auch Naturerkenntnis.

Dieselbe Überzeugung findet sich auch bei Isaac Newton, wie bereits am Titel seines Hauptwerks (Newton 1687 / 1988) deutlich wird. Die *Principia* gelten zurecht als eines der großen Werke der Physik, aber das Zweite Buch dieses Werkes[14] liest sich mit heutigem Blick wie ein erstes Lehrbuch über gewöhnliche Differentialgleichungen, gehalten in der strengen Form von Definition, Satz und Beweis. Die behandelten Probleme sind die der Physik, z. B. *Über die Bewegung von Körpern, denen im Verhältnis der Geschwindigkeit Widerstand geleistet wird.* Aber was dann folgt, ist reine Mathematik.

Die heute geläufige Trennung von Mathematik und Physik gibt es im 17. Jahrhundert nicht. Die beiden Grundaufgaben der Analysis etwa werden wie selbstverständlich „physikalisch“ formuliert:[15]

- *Die Länge der durchlaufenen Strecke sei kontinuierlich angegeben. Man soll die Geschwindigkeit der Bewegung zu einem beliebigen aber festen Zeitpunkt bestimmen.*

[13] Galilei (1638 / 1995, 146)
[14] Newton 1687 / 1988, 123–166
[15] Peiffer / Dahan-Dalmedico (1994, 236)

- *Die Geschwindigkeit der Bewegung sei kontinuierlich angegeben. Zu bestimmen ist die Länge der durchlaufenen Strecke zu einem beliebigen aber festen Zeitpunkt.*

Für Newton sind mathematische Variablen „Fluenten'", die fließen und Änderungsgeschwindigkeiten besitzen.

Die Grundlagen der modernen Mathematik (Analysis, Differentialgleichungen, Analytische Geometie), die heute den Inhalt der ersten Semester aller mathematischen und mathematikhaltigen Studiengänge ausmachen, sind nicht bloß im Zusammenhang mit physikalischen Fragestellungen entwickelt worden, sondern sie *sind* diese Fragestellungen lange gewesen, auch wenn sich bis heute viele andere Anwendungsfelder gefunden haben.

2.3 Kants Neubestimmung des Verhältnisses von Mathematik und Naturwissenschaft

Bei einer Behandlung des Verhältnisses von Mathematik und Wirklichkeit ist die epistemologische „kopernikanische Wende" Immanuel Kants zu nennen, auf den sich im Übrigen auch Heinrich Hertz[16] zustimmend bezogen hat. Kant entwickelte seine Erkenntnistheorie in Auseinandersetzung mit dem Empiristen David Hume, der gegen seine ursprüngliche Intention nachgewiesen hatte, dass eine Begründung objektiver Erkenntnis aus der Erfahrung unmöglich ist:

> *„Denn alle Ableitung aus Erfahrung setzt als ihre Grundlage voraus, daß die Zukunft der Vergangenheit ähnlich sein wird, und daß gleichartige Kräfte mit gleichartigen sinnlichen Eigenschaften zusammenhängen werden. Schöpfte man irgendwie Verdacht, daß der Naturlauf sich ändern könne und daß in der Vergangenheit nicht die Regel für die Zukunft enthalten sei, so wäre jede Erfahrung nutzlos und könnte zu keinem Ableiten oder Schließen Veranlassung geben. Daher ist es unmöglich, daß irgendwelche Erfahrungsbegründungen diese Ähnlichkeit der Vergangenheit mit der Zukunft belegen können, denn all diese Begründungen beruhen ja auf der Voraussetzung dieser Ähnlichkeit."*[17]

und daraus den skeptischen Schluss zog:

> *„Mir scheint, daß die einzigen Gegenstände der abstrakten Wissenschaften oder der Demonstration Größe und Zahl sind, und daß alle Versuche, diese vollkommeneren Wissensarten über diese Grenzen hinaus zu erstrecken, nur Blendwerk und Täuschung bedeuten."*[18]

Kant, der nach seinen eigenen Worten von Hume „aus seinem dogmatischen Schlummer geweckt" wurde, argumentiert komplementär: Da objektive Erkenntnis offenbar möglich

[16] s. Hertz (1894, 53)
[17] Hume 1748/1993, 37/38)
[18] Hume (1748 / 1993, 163)

(zu Zeiten Humes und Kants eine Tatsache) ist, die Bedingungen ihrer Möglichkeit sich aber nicht aus der Erfahrung ableiten lassen, müssen sie a priori vorhanden, also aller Erfahrung vorgelagert sein. In der Vorrede zur 2. Auflage seiner *Kritik der reinen Vernunft* fasst er die mathematisch-naturwissenschaftliche Methode zusammen:

> *„Als Galilei seine Kugeln die schiefe Fläche mit einer von ihm selbst gewählten Schwere herabrollen, oder Torricelli die Luft ein Gewicht, was er sich zum voraus dem einer ihm bekannten Wassersäule gleich gedacht hatte, tragen ließ, oder in noch späterer Zeit Stahl Metalle in Kalk und diesen wieder um in Metall verwandelte, indem er ihnen etwas entzog und wiedergab; so ging allen Naturforschern ein Licht auf. Sie begriffen, daß die Vernunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem Entwurfe hervorbringt, daß sie mit Prinzipien ihrer Urteile nach beständigen Sätzen vorangehen und die Natur nötigen müsse auf ihre Fragen zu antworten, nicht aber sich von ihr allein gleichsam am Leitbande gängeln lassen müsse; denn sonst hängen zufällige, nach keinem vorher entworfenen Plane gemachte Beobachtungen gar nicht in einem notwendigen Gesetze zusammen, welches doch die Vernunft sucht und bedarf. Die Vernunft muß mit ihren Prinzipien, nach denen allein übereinkommende Erscheinungen für Gesetze gelten können, in einer Hand, und mit dem Experiment, das sie nach jenen ausdachte, in der anderen, an die Natur gehen, zwar um von ihr belehrt zu werden, aber nicht in der Qualität eines Schülers, der sich alles vorsagen läßt, was der Lehrer will, sondern eines bestallten Richters, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt. Und so hat sogar Physik die so vorteilhafte Revolution ihrer Denkart lediglich dem Einfalle zu verdanken, demjenigen, was die Vernunft selbst in die Natur hineinlegt, gemäß, dasjenige in ihr zu suchen (nicht ihr anzudichten), was sie von dieser lernen muß, und wovon sie für sich selbst nichts wissen würde. Hierdurch ist die Naturwissenschaft allererst in den sicheren Gang einer Wissenschaft gebracht worden, da sie so viel Jahrhunderte durch nichts weiter als ein bloßes Herumtappen gewesen war.“*[19]

Spätestens Humes Skeptizismus hatte Galileis und Newtons Vorstellungen einer unmittelbaren Identität von Mathematik und Natur aufgelöst. Kant stellt sie in anderer Form wieder her, nämlich als eine vermittelte Identität von Mathematik und Natur*wissenschaft*, wie sie auch in seinem berühmten Diktum

> *„daß in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist“*[20],

deutlich wird. Die Mathematik ist ein, wenn nicht sogar *das* Erkenntnisinstrument, sie gehört zu den Prinzipien der Vernunft, die wir in die Natur hineinlegen müssen, um zu Erkenntnissen zu kommen, die über ein bloßes „Herumtappen“ hinausgehen. Demnach sei beispielsweise Newtons absoluter Raum, wie er durch Descartes' analytische Geometrie

[19] Kant (1781/1787/1990, 17)
[20] Kant (1786 / 1996, Vorrede)

beschrieben wird, eine *Vorstellung a priori*, eine Denknotwendigkeit, die wir in die Natur projizieren müssen, weil wir sie anders nicht erkennen könnten.

Bei Heinrich Hertz sind wir damit noch nicht angekommen. Zwischen Immanuel Kant und ihm liegt das 19. Jahrhundert. Dessen naturwissenschaftliche und philosophische Entwicklung lässt sich durch einen „Verlust der Eindeutigkeit" charakterisieren, die ihren Ausdruck etwa in dem Ende der Systemphilosophie findet, aber auch in einem Brüchigwerden der Verbindung zwischen Mathematik und Physik.

2.4 Verlust der Eindeutigkeit im 19. Jahrhundert

Im Laufe des 19. Jahrhunderts treten im Verhältnis zwischen Mathematik und physikalischer Wirklichkeit in verschiedener Hinsicht Mehrdeutigkeiten auf, die schließlich in eine Neubestimmung dieses Verhältnisses münden. Zum einen stürzt das Auftreten nichteuklidischer Geometrien das naturwissenschaftliche Denken in eine Krise. Carl Friedrich Gauß, dem es wohl als Erstem gelingt, eine neue Geometrie zu konstruieren, in der das Parallelenaxiom nicht gilt, hat in Erwartung mangelnder Akzeptanz seine Überlegungen nie veröffentlicht, sondern nur in einem Briefwechsel erwähnt.[21] Er scheint sich des Spaltes, der sich hier zwischen Mathematik und Physik aufzutun beginnt, bewusst zu sein, wenn er schreibt:

> *„Wir müssen in Demuth zugeben, dass, wenn die Zahl bloss unseres Geistes Product ist, der Raum auch ausser unserem Geiste eine Realität hat, der wir a priori unsere Gesetze nicht vollständig vorschreiben können."*[22]

Auch Bernhard Riemann ist sich der Wirkung seiner Geometrien auf das Verhältnis von Mathematik und Erfahrung bewusst, wenn er in seinem berühmten Habilitationsvortrag von 1854 sagt:

> *„Ich habe mir daher zunächst die Aufgabe gestellt, den Begriff einer mehrfach ausgedehnten Größe aus allgemeinen Größenbegriffen zu konstruieren. Es wird daraus hervorgehen, daß eine mehrfach ausgedehnte Größe verschiedener Maßverhältnisse fähig ist und der Raum also nur einen besonderen Fall einer dreifach ausgedehnten Mannigfaltigkeit bildet. Hiervon aber ist eine notwendige Folge, daß sich die Sätze der Geometrie nicht aus allgemeinen Größenbegriffen ableiten lassen, sondern daß diejenigen Eigenschaften, durch welche sich der Raum von anderen denkbaren dreifach ausgedehnten Größen unterscheidet, nur aus der Erfahrung entnommen werden können."*[23]

Erst langsam dringt die Ungeheuerlichkeit ins allgemeine Bewußtsein, die in der Existenz konkurrierender mathematischer Theorien besteht, stellt doch diese Tatsache den Begriff der mathematischen Wahrheit in Frage:

[21] s. Mehrtens (1990, 46)
[22] zitiert nach Mehrtens (1990, 46)
[23] Zitiert nach Peiffer / Dahan-Dalmedico (1994, 163)

> *„Niemand kann zwei Herren dienen. Man kann nicht der Wahrheit dienen und der Unwahrheit. Wenn die euklidische Geometrie wahr ist, so ist die nichteuklidische Geometrie falsch, und wenn die nichteuklidische wahr ist, so ist die euklidische Geometrie falsch.“*[24]

Gottlob Frege hält hier in Reaktion auf die sich abzeichnende Relativierung des mathematischen Wahrheitsbegriffs noch einmal die traditionelle Position hoch. Diese hätte aber zur notwendigen Folge, wie Riemann und bereits Gauß bemerkt haben, die Erfahrung zum Schiedsrichter über die Richtigkeit mathematischer Aussagen zu machen, was nach allgemeiner Auffassung die Stringenz der mathematischen Argumentation doch stark beeinträchtigen würde.

So kommt es schließlich, vollzogen von David Hilbert in seiner berühmten Rede auf dem Mathematikerkongress 1900 in Paris,[25] zur radikalen Abkehr von der traditionellen Position, der Neufassung des mathematischen Wahrheitsbegriffs durch die Widerspruchsfreiheit und der Auffassung von mathematischen Axiomen als Setzungen anstelle evidenter Wahrheiten. In diesem Programm haben sowohl die euklidische Geometrie als auch die nichteuklidischen ihren Platz in der Mathematik, sie widersprechen sich nicht einmal mehr, sondern beruhen einfach auf verschiedenen Axiomensystemen. Damit löst sich aber auch eine bis dato bestehende Verbindung zur physikalischen Wirklichkeit, und Hilbert ist nur konsequent, wenn er die Mathematik als ein eigenständiges Fach konstituiert, welches sich nicht über seine Inhalte, sondern ausschließlich über die *Form* definiert, in die diese zu bringen seien. Damit folgt aber aus der Mathematik für die Physik zunächst einmal gar nichts mehr. Welche Mathematik für die Naturwissenschaft von Bedeutung ist, kann sich nur noch außerhalb der Mathematik und nach ihr fremden Kriterien erweisen.

Umgekehrt – und hier liegt die zweite im 19. Jahrhundert auftretende Mehrdeutigkeit im Verhältnis von Mathematik und Physik – lässt sich aus physikalischen Phänomenen nicht eindeutig folgern, welche mathematische Theorie sie adäquat beschreibt. Es gibt vielmehr mehrere solcher Theorien. Für die klassische Mechanik waren es zu Hertz' Zeiten zwei: Neben dem Newton'schen Zugang mit *Kraft* als Grundbegriff kam im 19. Jahrhundert ein zweiter, auf Variationsprinzipien beruhender auf, in dem *Energie* als Grundbegriff an die Stelle der Kraft tritt.

In diese Entwicklung hat Heinrich Hertz selber kräftig eingegriffen: In den letzten drei Jahren seines Lebens konzentrierte er sich auf die begriffliche Überarbeitung der Grundlagen der klassischen Mechanik. Die ein halbes Jahr nach seinem Tod erschienene Schrift *Die Prinzipien der Mechanik, in neuem Zusammenhange dargestellt* ist der Versuch einer Mechanik ohne Kraft- und ohne Energiebegriff, genauer gesagt, einer Mechanik, in der weder Kraft noch Energie Grundbegriffe, sondern aus anderen Begriffen abgeleitet sind. Hertz versucht in seinem Zugang, mit den (allen drei Zugängen gemeinsamen) drei Grundbegriffen *Zeit*, *Raum* und *Masse* auszukommen, und postuliert die Bewegung verborgener Massen des Äthers. Die Ätherhypothese ist von der modernen Physik kurz

[24] Zitiert nach Mehrtens (1990, 117)
[25] Hilbert (1900 / 1990)

darauf verworfen worden, dagegen gibt es ähnliche Erkärungsmuster für die Bewegungen von Körpern in der allgemeinen Relativitätstheorie (durch Gravitationsfelder gekrümmter Raum), die sich der nichteuklidischen Geometrie bedient.

Heinrich Hertz kommt das Verdienst zu, aus der ihm vorliegenden Situation weiterführende und bis heute tragende erkenntnistheoretische Konsequenzen gezogen zu haben. Berühmt geworden ist daher auch weniger Hertz' Spätwerk selbst, als vielmehr dessen bereits zitierte Einleitung, in der Hertz sich ein Instrumentarium schafft, seinen eigenen Aufbau der Mechanik und die beiden bis dahin bekannten hinsichtlich der Vor- und Nachteile gegeneinander abzuwägen. Damit sollte deutlich sein, wie sehr sich die Lage der exakten Wissenschaften seit ihren mit Galileis Namen verbundenen Anfängen geändert hat. Ihr Boden ist schwankend geworden. An die Stelle unabänderlicher Wahrheit ist die Abwägung von Vor- und Nachteilen konkurrierender mathematischer Theorien getreten. Aus dieser neuen Situation hat Hertz als Erster die Konsequenz gezogen.

2.5 Anforderungen an Modelle

Der hier beschriebene und von Hertz konstatierte Verlust der Eindeutigkeit hat Folgen: Die durch Abbildung 2.2 skizzierte „eine fundamentale Beziehung", der die „inneren Scheinbilder und Symbole" genügen müssen, lässt verschiedene Möglichkeiten offen. Das hat zur Konsequenz, dass für die geeignete Auswahl von Modellen weitere Kriterien hinzutreten. Heinrich Hertz nennt die folgenden:

> *„Eindeutig sind die Bilder, welche wir uns von den Dingen machen wollen, noch nicht bestimmt durch die Forderung, daß die Folgen der Bilder wieder die Bilder der Folgen seien. Verschiedene Bilder derselben Gegenstände sind möglich und diese Bilder können sich nach verschiedenen Richtungen unterscheiden. Als unzulässig sollten wir von vornherein solche Bilder bezeichnen, welche schon einen Widerspruch gegen die Gesetze unseres Denkens in sich tragen, und wir fordern also zunächst, daß alle Bilder logisch zulässige oder kurz zulässige seien. Unrichtig nennen wir zulässige Bilder dann, wenn ihre wesentlichen Beziehungen den Beziehungen der äußeren Dinge widersprechen, das heißt wenn sie jener ersten Grundforderung nicht genügen. Wir verlangen demnach zweitens, daß unsere Bilder richtig seien. Aber zwei zulässige und richtige Bilder derselben äußeren Gegenstände können sich noch unterscheiden nach der Zweckmäßigkeit. Von zwei Bildern desselben Gegenstandes wird dasjenige das zweckmäßigere sein, welches mehr wesentliche Beziehungen des Gegenstandes widerspiegelt als das andere; welches, wie wir sagen wollen, das deutlichere ist. Bei gleicher Deutlichkeit wird von zwei Bildern dasjenige zweckmäßiger sein, welches neben den wesentlichen Zügen die geringere Zahl überflüssiger oder leerer Beziehungen enthält, welches also das einfachere ist. Ganz werden sich leere Beziehungen nicht vermeiden lassen, denn sie kommen den Bildern schon deshalb zu, weil es eben nur Bilder und*

> *zwar Bilder unseres besonderen Geistes sind und also von den Eigenschaften seiner Abbildungsweise mitbestimmt sein müssen.“*[26]

Das Kriterium der (logischen) *Zulässigkeit* scheint das am leichtesten überprüfbare zu sein. Hierbei wird freilich von den Grundlagenproblemen der Mathematik abgesehen, die Hertz noch nicht geläufig waren und die auch heute in der mathematischen Modellierung keine Rolle spielen.

Den Gegenpol gibt das Kriterium der *Zweckmäßigkeit* ab. Welches von zwei Modellen das zweckmäßigere ist, ist oft eine Frage des Blickwinkels, unter dem reale Phänomene betrachtet werden, die akzeptierten Antworten darauf gut geeignet für einen Streit der „Schulen“ und daher auch kurzfristigen historischen Veränderungen unterworfen.

Das Kriterium der *Richtigkeit* schließlich, also die Grundforderung, wird in der Physik, an die Hertz hier ausschließlich denkt, in der Regel durch ein Experiment überprüft, also durch die bewusste und theoriegeleitete Herstellung von Versuchsbedingungen, die den Idealvorstellungen des Modells möglichst nahe kommen und an denen sich seine Vorhersagen überprüfen lassen.

Das durch Hertz' abstrakte, von der Physik losgelöste Formulierung bereits nahe gelegte und im 20. Jahrhundert auch praktisch vollzogene Eindringen mathematischer Modelle in andere Wissenschaftsbereiche bringt eine methodische Schwierigkeit mit sich, die die Physik so nicht kennt, mit Ausnahme vielleicht in der Kosmologie: Klimamodelle, Modelle von Volkswirtschaften oder komplexer biologischer Systeme etwa lassen sich nicht experimentell überprüfen: Der Beobachter kann die im Modell unterstellten Idealbedingungen nicht herstellen, er muss das beobachtete System so nehmen, wie es ist. Hier dürfte das Hauptproblem bei der Übertragung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Methode auf die meisten anderen Wissensgebiete liegen. Anders gesagt: Die Art der Überprüfung der Richtigkeit von Modellen ist durch das Wissensgebiet bestimmt, auf welches das Modell sich bezieht, sie kann etwa in den Sozialwissenschaften nicht dieselbe sein wie in der Physik. Das hat zur Folge, dass der Status der Mathematik und mathematischer Modelle in vielen Fachwissenschaften bis heute unklar geblieben und streitig ist.

Dennoch gibt es weitere Anforderungen an eine saubere mathematische Modellbildung, die sich auch außerhalb der Physik erfüllen lassen, aber leider oft nicht erfüllt werden:

> *„Wir haben bisher die Anforderungen aufgezählt, welche wir an die Bilder selbst stellen; etwas ganz anderes sind die Anforderungen, welche wir an eine wissenschaftliche Darlegung solcher Bilder stellen. Wir verlangen von der letzteren, daß sie uns klar zum Bewußtsein führe, welche Eigenschaften den Bildern zugelegt seien um der Zulässigkeit willen, welche um der Richtigkeit willen, welche um der Zweckmäßigkeit willen. Nur so gewinnen wir die Möglichkeit an unseren Bildern zu ändern, zu bessern. Was den Bildern beigelegt wurde um der Zweckmäßigkeit willen, ist enthalten in den Bezeichnungen, Definitionen, Abkürzungen, kurzum in dem, was wir nach Willkür hinzutun*

[26] Hertz (1894, 2 f.)

> *oder wegnehmen können. Was den Bildern zukommt um ihrer Richtigkeit willen, ist enthalten in den Erfahrungstatsachen, welche beim Aufbau der Bilder gedient haben. Was den Bildern zukommt, damit sie zulässig seien, ist gegeben durch die Eigenschaften unseres Geistes. Ob ein Bild zulässig ist oder nicht, können wir eindeutig mit ja und nein entscheiden, und zwar mit Gültigkeit unserer Entscheidung für alle Zeiten. Ob ein Bild richtig ist oder nicht, kann ebenfalls eindeutig mit ja und nein entschieden werden, aber nur nach dem Stande unserer gegenwärtigen Erfahrung und unter Zulassung der Berufung an spätere reifere Erfahrung. Ob ein Bild zweckmäßig sei oder nicht, dafür gibt es überhaupt keine eindeutige Entscheidung, sondern es können Meinungsverschiedenheiten bestehen. Das eine Bild kann nach der einen, das andere nach der andern Richtung Vorteile bieten, und nur durch allmähliches Prüfen vieler Bilder werden im Laufe der Zeit schließlich die zweckmäßigsten gewonnen.“*[27]

Hertz gibt hier ebenso klar wie allgemein Bedingungen an, die beachten sollte, wer sich in seiner Wissenschaft mathematischer Modelle bedient. Wer das nicht will oder kann, sollte besser die Finger von der Anwendung der Mathematik auf den behandelten Gegenstandsbereich lassen, wofür es ja gute Gründe geben kann. Tatsächlich haben aber das mit der Mathematik verbundene Renommee und der durch sie erzeugte Anschein von Exaktheit dazu geführt, dass ganze Wissenschaftszweige sich ihrer bedienen und dabei so gut wie keine der hier von Hertz aufgestellten Grundregeln beachten.

Ein Beispiel dafür bietet die sich selbst als „moderne Wirtschaftstheorie“ verstehende Volkswirtschaftslehre neoklassischer Provenienz.[28] Aus der Unkenntnis oder bewussten Missachtung jeglicher zur mathematischen Modellierung gehörigen Grundregeln versucht Friedman (1953), gar eine eigene „Methodologie“ zu machen: Dass die moderne Wirtschaftstheorie bekanntermaßen mit falschen und einander sogar widersprechenden Annahmen operiert[29], wird von ihm nicht als Fehler, sondern als Stärke gesehen. Es komme nur darauf an, mit ihnen zu richtigen oder jedenfalls falsifizierbaren Prognosen zu kommen. Das hier propagierte Vorgehen besteht darin, auf jede Erklärung und jedes Verständnis der prognostizierten Empirie von vornherein zu verzichten. Genauso gut könnte man sich seine Hypothesen von einem Zufallsgenerator erzeugen lassen. Mit mathematischer Modellierung im Sinne von Hertz hat das jedenfalls nichts zu tun.

[27] Hertz (1894, 3)

[28] Vgl. Ortlieb (2004)

[29] Dass mathematische Modelle ohne idealisierende Annahmen nicht auskommen, gehört zum Geschäft, weil ohne sie die komplexe Wirklichkeit sich nicht in mathematische Form bringen lässt. Die Annahmen bestimmen den Gültigkeitsbereich des Modells, sich widersprechende Annahmen (unzulässig laut Hertz) machen ihn leer. Die neoklassische „Methodologie“ scheint demgegenüber darin zu bestehen, sich um den Gültigkeitsbereich ihrer Modelle einfach nicht zu scheren.

2.6 Grenzen mathematischer Naturerkenntnis

Von den erkenntnistheoretischen Konsequenzen der wissenschaftlichen Revolution im Übergang vom 19. auf das 20. Jahrhundert, denen sich Heinrich Hertz als einer der ersten bewusst war, scheint bei den meisten naturwissenschaftlich Tätigen wenig angekommen zu sein. Zwar weiss heute jeder, dass Mathematik ein Fach eigenen Rechts mit einem speziellen, nur durch die Widerspruchsfreiheit konstituierten Wahrheitsbegriff ist. Die Folgen für die Beziehung der Mathematik zu anderen Wissenschaften mit anderem, an der Erfahrung orientiertem Wahrheitbegriff werden hingegen nicht durchdacht, sondern mystifiziert. Daraus resultierende Deutungen unterscheiden sich in der Tat nur wenig von magischen Naturvorstellungen:

> *„Echte Wissenschaft hingegen bleibt wirkliche Magie. Es ist faszinierend zu sehen, wie viele physikalische Phänomene sich mit unheimlicher Genauigkeit an Theorien und Formeln halten, was nichts mit unseren Wünschen oder kreativen Impulsen, sondern mit der reinen Wirklichkeit zu tun hat. Es macht einen völlig sprachlos, wenn es sich herausstellt, daß Phänomene, die zunächst nur theoretisch begründet und mit Formeln errechnet worden sind, sich in der Folge als Realität erweisen. Warum sollte die Wirklichkeit so sein? Es ist reine Magie!“*[30]

Warum passt die Mathematik, die doch unseren eigenen Köpfen entspringt, so gut auf die Natur, die damit doch eigentlich gar nichts zu tun hat? Für Galilei und Newton konnte das noch gar keine Frage sein, denn die Natur hatte ja bei ihnen mit Mathematik zu tun, war mit ihr quasi identisch. Heute dagegen löst diese Frage, wie hier bei dem Mathematiker Dewdney, regelmäßig ehrfürchtiges Staunen aus, je nach Standort entweder über die Mathematik, die so Großes zu leisten vermöge, oder über die Natur, die so rational eingerichtet sei. Wenn selbst professionelle Wissenschaftstheoretiker über diesen Stand nicht hinauskommen, ziehen sie zu Recht den Spott auf sich:

> *„Carnap, einer der radikalsten Positivisten, hat es einmal als Glücksfall bezeichnet, daß die Gesetze der Logik und reinen Mathematik auf die Realität zutreffen. Ein Denken, das sein ganzes Pathos an seiner Aufgeklärtheit hat, zitiert an zentraler Stelle einen irrationalen – mythischen – Begriff wie den des Glücksfalls, nur um die freilich an der positivistischen Position rüttelnde Einsicht zu vermeiden, daß der vermeintliche Glücksumstand keiner ist, sondern Produkt des naturbeherrschenden ... Ideals von Objektivität. Die von Carnap aufatmend registrierte Rationalität der Wirklichkeit ist nichts als die Rückspiegelung subjektiver ratio.“*[31]

Die Mathematik – das wusste bereits Kant – liegt nicht in der Natur, sondern in unserer spezifischen Erkenntnis[32] der Natur. Erst recht gilt das für ein mathematisches

[30] Dewdney (1998, 30)
[31] Adorno (1969, 30)
[32] Dass sie *historisch* spezifisch ist, wusste Kant freilich nicht oder wollte – als Denker der Aufklärung – davon nicht wissen.

Instrumentarium, dem mit dem Gewinn seiner Unabhängigkeit die Denknotwendigkeit verloren gegangen ist und das wir daher – in den Worten von Hertz – nach Aspekten der Zweckmäßigkeit auswählen, dem wir Details „nach Willkür hinzutun oder wegnehmen können“.

Dass „gewisse Übereinstimmungen vorhanden sein (müssen) zwischen der Natur und unserem Geiste“, wovon auch Hertz spricht, wird in der Physik dadurch gewährleistet, dass die Natur im Experiment an unseren Geist, also an die mathematischen Idealbedingungen angepasst und die besagte Übereinstimmung damit erst hergestellt wird.

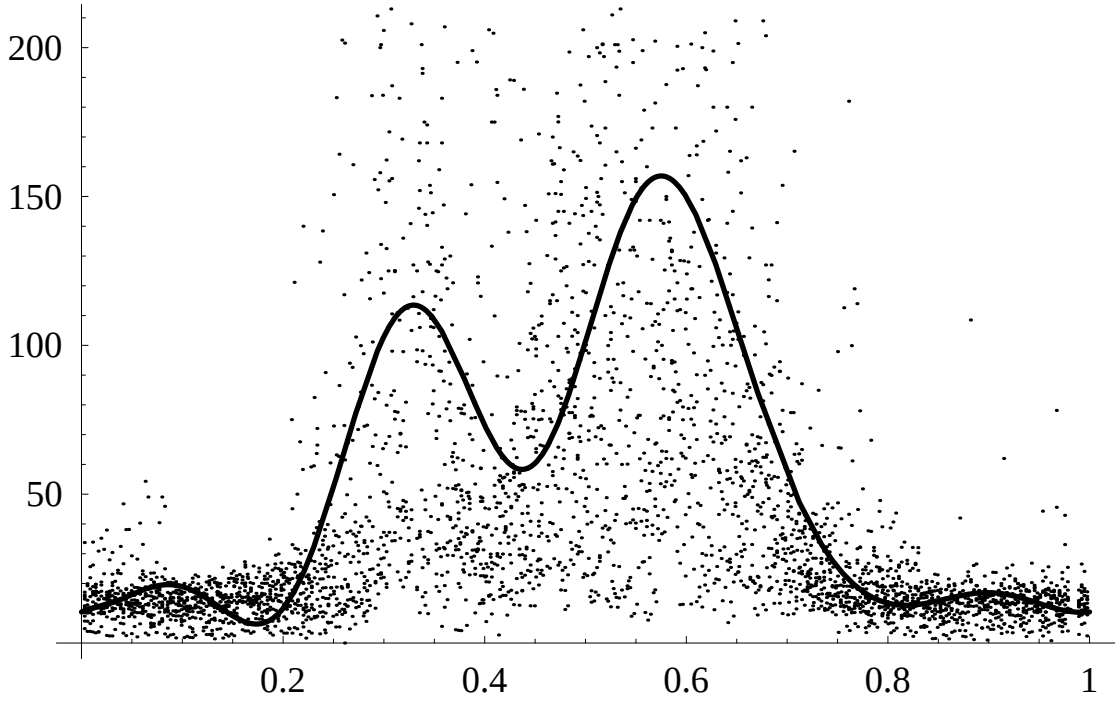


Abbildung 2.6:
Beobachtungsdaten und „Gesetzmäßigkeit“,
hier am Beispiel des mittleren Jahresgangs
einer Phytoplanktondichte, Helgoland-Reede-Daten 1976–1991

Lassen sich dagegen die im Modell unterstellten Idealbedingungen nicht oder nur unzureichend herstellen, so bleiben die zu beobachtenden „Naturgesetze“ letztlich mathematische Fiktionen, wie jeder wissen könnte, der einmal Modelle und Daten „gefittet“ hat. Die Gesetzmäßigkeit steckt allein in der mathematische Funktion des Modells, während die Abweichungen der Beobachtungsdaten davon durch externe „Störungen“ erklärt werden, die sich der Modellierung entziehen. Abbildung 2.6 gibt dafür ein beliebig herausgegriffenes Beispiel.

Unter der *Annahme*, die Wirklichkeit folge mathematischen Gesetzen, versuchen wir diejenige mathematische Struktur und Gesetzmäßigkeit herauszufinden, die mit kontrol-

lierten Beobachtungen am besten zusammenpasst. Offenbar funktioniert das in vielen Bereichen, nur folgt daraus eben nicht die Richtigkeit der zu Grunde liegenden Annahme. Umgekehrt wird es schlüssig: Durch die Wahl eines bestimmten Instrumentariums – das der exakten Wissenschaften – fokussieren wir und beschränken wir uns auf die Erkenntnis derjenigen Aspekte der Wirklichkeit, die sich mit diesem Instrumentarium erfassen lassen. Und es spricht nichts dafür, dass das schon die ganze Wirklichkeit wäre oder einmal werden könnte.

Damit sind die Grenzen mathematischer Naturerkenntnis zwar nicht bestimmt, aber immerhin benannt. Die Identität von Natur und Mathematik, wie sie Galilei oder Newton noch postulieren konnten, ist endgültig dahin, und dafür hat nicht zuletzt die historische Entwicklung der Naturwissenschaften und der Mathematik selbst gesorgt.

Als ein ideologisches Selbstverständnis steckt sie freilich weiterhin in vielen Köpfen. Anders ist jedenfalls nicht zu verstehen, dass Begriffe wie „Künstliche Intelligenz“ oder „Weltformel“ nicht nur zum Zwecke der Selbstreklame und Einwerbung von Forschungsgeldern, sondern durchaus in einem emphatischen Sinne gebraucht werden, als wären sie wörtlich zu verstehen, als könnten also mathematische Maschinen wirklich intelligent sein und mithin Bewusstsein besitzen, oder als hätten wir die Welt „im Griff“, wenn wir denn nur eine Formel für sie hätten. Die mathematisch-naturwissenschaftliche Methode wird hier als grenzenlos gedacht: keine Frage, die wir mit ihr nicht irgendwann würden beantworten können, kein Problem, das ihr unzugänglich wäre.

Die Grenzen des eigenen Instrumentariums – hier das der exakten Wissenschaften, der mathematischen Modellierung also – nicht sehen zu können, ist ein sicheres Zeichen für die Bewusstlosigkeit, mit der es eingesetzt wird. Angesichts der offenbaren Unmöglichkeit, die großen Menschheitsprobleme mit naturwissenschaftlichen Mitteln allein lösen zu können, wäre eine gewisse Bescheidenheit durchaus angebracht, wie sie – im Sinne des sokratischen Worts, „dass ich, was ich nicht weiß, auch nicht glaube zu wissen“[33] – nur aus einer selbstreflexiven Bewusstheit für das eigene Denken und Tun erwachsen kann. Heinrich Hertz hatte diese Bewusstheit.

2.7 Literatur

Adorno, Theodor W.: *Einleitung.* In: Adorno u. a.: *Der Positivismusstreit in der deutschen Soziologie.* Neuwied 1969, S. 7–79.

Bockelmann, Eske: *Im Takt des Geldes. Zur Genese modernen Denkens.* Springe: Zu Klampen Verlag 2004.

Cassirer, Ernst: *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit. Vierter Band.* 2. Aufl. 1957, Nachdruck: Darmstadt: WBG 1994.

Dewdney, Alexander K.: *Alles fauler Zauber?* Basel, Berlin: Birkhäuser Verlag 1998.

Friedman, M.: The methodology of positive economics. In: Friedman, M.: *Essays in positive economics.* Chicago: University of Chicago Press 1953, S. 5–43.

[33] Platon: Apologie des Sokrates, Platon (1994, 18)

Galilei, Galileo: *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno a due novo scienze.* Arcetri 1638, Übersetzung von Arthur von Oettingen: *Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend.* Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann 1890, Nachdruck.

Greiff, B. von: *Gesellschaftsform und Erkenntnisform. Zum Zusammenhang von wissenschaftlicher Erfahrung und gesellschaftlicher Entwicklung.* Frankfurt 1976.

Hertz, Heinrich: *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt.* Leipzig: J. A. Barth 1894.

Hilbert, David: *Die Hilbertschen Probleme. Vortrag „Mathematische Probleme", gehalten auf dem 2. Internationalen Mathematikerkongreß Paris 1900.* Thun, Frankfurt/M.: Verlag Harri Deutsch (4. Aufl.) 1998.

Hume, David: *An enquiry concerning human understanding.* London 1748. Übersetzung von R. Richter: Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand. Hamburg: Meiner 1993.

Kant, Immanuel: *Kritik der reinen Vernunft.* Riga: Johann Friedrich Hartknoch 1781, (2. Auflage) 1787, Nachdruck: Hamburg 1990.

Kant, Immanuel: *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft.* Riga: Johann Friedrich Hartknoch 1786. Kants Werke auf CD-ROM. Berlin 1996.

Koyré, Alexandre: *Leonardo, Galilei, Pascal. Die Anfänge der neuzeitlichen Naturwissenschaft.* Frankfurt: Fischer (Fischer Taschenbücher; Bd. 13776) 1998.

Mehrtens, Herbert: *Moderne – Sprache – Mathematik.* Frankfurt: Suhrkamp 1990.

Neunzert, H. und B. Rosenberger: *Oh Gott, Mathematik!?* Stuttgart, Leipzig: Teubner-Verlag 1997.

Newton, Isaac: *Philosophia naturalis principia mathematica.* London 1687. Übersetzung von E. Dellian: Mathematische Grundlagen der Naturphilsophie. Hamburg: Felix Meiner Verlag 1988.

Ortlieb, Claus Peter: *Bewusstlose Objektivität. Aspekte einer Kritik der mathematischen Naturwissenschaft.* Krisis 21/22, Bad Honnef 1999, S. 15–51.

Ortlieb, Claus Peter: *Methodische Probleme und methodische Fehler der mathematischen Modellierung in der Volkswirtschaftslehre.* In: *Mitteilungen der Mathematischen Gesellschaft in Hamburg* 23, Hamburg 2004, S. 1–24.

Peiffer, Jeanne und Amy Dahan-Dalmedico: *Wege und Irrwege – Eine Geschichte der Mathematik.* Basel: Birkhäuser 1994.

Platon: *Sämtliche Werke.* Übersetzt von Friedrich Schleiermacher. Band 1. Hamburg: Rowohlt 1994.

Figure 3.1:
Ludwig Wittgenstein (1889–1951)
Stegmüller Nachlass im Brenner Archiv

The Implausible Story of How Heinrich Hertz Influenced Ludwig Wittgenstein

Allan Janik (Innsbruck)

Abstract: Wie Heinrich Hertz Ludwig Wittgenstein beeinflußte

Wittgenstein war nachweislich sein ganzes Leben lang ein Bewunderer der philosophischen Einleitung zu den Prinzipien der Mechanik von Heinrich Hertz. An einer Stelle verwies er sogar ausdrücklich darauf, von Hertz und dessen Gedanken beeinflusst worden zu sein, allerdings verstand Wittgenstein unter „Einfluss"' in diesem Zusammenhang etwas ganz Spezielles; nämlich die Ansicht, dass er mehr in Hertz – und den anderen, die ihn beeinflusst haben – gefunden hätte, als Hertz selbst in sich zu sehen vermochte. Also entdeckte er in Hertz eine Strategie für die Auflösung metaphysischer Probleme anhand von alternativen Darstellungen der problematischen Materie. Die Hertz'sche Auffassung von alternativen Darstellungen zum Üblichen, d. h. die Hertz'sche Auffassung der Verwendung von alternativen Bildern der Tatsachen und nicht die Bilder selbst, ist sein Erbe des Entdeckers der elektromagnetischen Wellen.

It is an unquestionable fact that Heinrich Hertz influenced Wittgenstein. Any number of his students and friends remember him enthusiastically recommending the Introduction to *The Principles of Mechanics* as a superb account of what philosophy is all about. However, the best proof of Hertz's influence upon him can be found in Wittgenstein's own words:

> *"I think there is some truth in the idea that I think only reproductively. I don't believe that I have ever invented a line of thinking, I have always taken one over from someone else. I have simply straightaway seized upon it with enthusiasm for my work of clarification. That is how Boltzmann, Hertz, Schopenhauer, Frege, Russell, Kraus, Loos, Weininger, Spengler, Sraffa have influenced me* (Wittgenstein, 1998, 16).

However, this passage has been either read superficially as a (curiously misleading, because radically incomplete) list of Wittgenstein's "sources" or completely misread as a

statement of "Jewish self-hatred" by people who fail to read the (rather long) passage up to the very end. Wittgenstein asserts there that,

> *"It is typical of a Jewish mind [like mine] to understand someone else's work better [my emphasis, AJ] than he understands it himself* (Wittgenstein, MS 154 v 15, 1931 (Wittgenstein, 1998, 17).

In fact, what seems to begin as an exercise in self-deprecation turns out to be an imperious claim to a peculiar form of insight. What Wittgenstein actually asserts when he claims to have been "influenced" by Hertz is that he has seen more in the work of Hertz than Hertz himself did. So, in seeking the Hertzian strain in Wittgenstein's thought (assuming that Wittgenstein is right about himself), it will not be a straight-forward matter of identifying an expression or concept that he has taken lock, stock and barrel from Hertz but of discovering a surprisingly innovative employment of an element from Hertz's intellectual instrumentarium in his thought. That means that the story of Hertz's "influence" upon Wittgenstein will have more to do with the latter that it will with the former. However, the very peculiarity of claiming to see something in Hertz that Hertz himself did not see and that no one else up to today has seen in Hertz implies that identifying that "influence" is also calling attention to a neglected aspect of Hertz's thought.

In order to determine what that element might be we shall have to bear three points in mind that I have elsewhere spelled out in detail (Janik, 2006). First, the text is from 1931, so it bears upon what was in the course of becoming Wittgenstein's so-called "later philosophy" and not merely the *Tractatus*. Second, we are talking about philosophy – indeed, about philosophical method: "my work of clarification" (*Klärungswerk*) – rather than science. Since we are reasonably sure that Wittgenstein's list of "influences" is chronological, the influence of Hertz came when Wittgenstein was about 15; for we know that he discovered Schopenhauer at the age of sixteen, i. e., at a time before he was capable of appreciating the mathematical sophistication involved in Hertz's (or Boltzmann's) physical theories, the text bears upon philosophy. Third, in all probability, the chronological character of the list would seem to imply that he was led from one figure to the other. Given Boltzmann's profound admiration for Hertz (he related the anecdote that he once began a letter to his wife "Liebes Hertz!") it is certainly not implausible. The question remains: "what might it have been about Boltzmann's presentation of Hertz's philosophy of science (as we would now call it) that might have led Wittgenstein to a deeper understanding of Hertz than not only Boltzmann but than Hertz himself?"

It is worth pointing out that there is nothing in the Bergen Electronic Edition of Wittgenstein Nachlass or in the Innsbruck electronic edition of his complete correspondence that directly answers this question. Indeed, by its very nature the question involves speculation, which, of course, must be grounded in what we do know about him with a modicum of certainty. My suggestion is that the crucial point about this "influence" (a confusing notion that is generally better avoided in the history of ideas but Wittgenstein does not allow us that luxury here) be ars upon the most central point of Hertz's Introduction to the *Principles*: the three characteristics of solid theories (Hertz, 1894,

2): logical permissibility (*Zulässigkeit*), empirical correctness (*Richtigkeit*) and rhetorical appropriateness (*Zweckmäßigkeit*). Despite a certain declared admiration for Hertz's epistemological Introduction to the *Principles*, (Mulligan, 1998, 176) Boltzmann seems to have considered that whole discussion of the properties of models superfluous:

> *"The demand that every theory be correct and economical; it corresponds eo ipso to the laws of thought. I do not think that we have to make the latter a special requirement as Hertz does* (Boltzmann, 1905, 58).

The whole discussion sounded in all likelihood altogether too Machist to Boltzmann for him to want to indulge in at al: Hertz's view were inspired by Mach and not intended to be hostile to him (Hertz, 1894, xxviii). In any case Boltzmann would certainly not have been alone in giving Hertz a Machist interpretation here (it was Ernst Cassirer's service to have recognized that, all appearances aside, the positions of Mach and Hertz were so profoundly different that they must be separated from one another clearly and distinctly but that was much later, Cassirer, 1950, 103–109). In his haste to reject Mach he neglected even to mention the distinguishing feature of Hertz's account of theories as *bildliche Darstellungen*, namely their "appropriateness". To be sure, from a Machist point of view it would be easy enough simply to interpret "appropriateness" as the equivalent of "simplicity"; for, is not entirely clear what "appropriateness" adds to "permissibility" and "correctness" that is not contained in Mach's concept of "The Principle of Economy", i. e. the idea that the simplest mathematical formulation of a theory is always the best. What Hertz says about appropriateness as bearing upon the theoretical representation's "distinctness" and its minimal number of "empty relations" would lead one to think this way. However, Hertz's view seems to be more complicated than Mach's. In fact, he realizes, as Mach does not, that it is possible to pose the question "simple for whom" and in doing so lays bare an essentially rhetorical dimension to scientific thinking.

In posing the question "simple for whom?", Hertz employs a convincing analogy between theoretical presentations of mechanics and presentations of grammar (Hertz, 1894, 47): apart from being coherent and comprehensive presentations of grammars have to suit the needs of the people who will use them. Thus beginners require a different account of English grammar from philologists. In fact, the more one considers the analogy, the more apposite – and complex – it grows; for there will be different grammars for young beginners who are native speakers from those that are intended for adult beginner foreigners as well as for native speakers in various phases of studying their own language. Clearly there is more to this analogy than meets the eye.

However, Hertz's point here goes beyond criticizing the Machist notion that there is such a thing as "the simplest" account of a given phenomenon. He is after bigger philosophical game than that. In fact, Hertz suggests that alternative presentations of mechanics can help us to understand and, indeed, to eliminate the metaphysical problems about, say, "force" that arise in classical Newtonian physics. Thus the "energeticist" program developing physical theory show that it is possible to present mechanics without employing the concept of force. However, it does so at the expense of introducing a complex first principle, which is no less epistemologically offensive (Hertz, 1894, 22). That led Hertz to his own geometrical presentation of mechanics as an axiomatic system.

In short, on the basis of alternative representations of mechanics Hertz was able to show how metaphysical problems could be made to disappear. That the result was an unwieldy physics that has had no impact upon the practice of the disciple need not concern us here. What is important for Wittgenstein's reception of Hertz is that Hertz was able to deal with metaphysical problems immanently within physics itself rather than by producing a metatheory about the nature of physics for policing the subject in the way that Mach (and later the Carnap wing of the Vienna Circle) did. They were not the result of ignorance or folly but of conventional good thinking within the discipline itself. Until today this point has not been appreciated by philosophers of science. So it was no mean feat on Wittgenstein's part to have grasped that insight. What did he do with it?

> We might contrast Hertz and Wittgenstein as follows:
> Hertz:
> If metaphysical problems arise in the course of presenting a physical theory, they should be eliminated by re-presenting the matter at hand in such a way that they disappear. E. g. energetics or axiomatization in mechanics. This is principally a challenge to our ingenuity (as indeed all modeling is).
> Wittgenstein:
> Metaphysical problems arise because we let ourselves be fooled by the way normal linguistic usage tempts us to think. The problems of philosophy have no solutions; they must be dissolved on the basis of alternative representations.

In a sense, Wittgenstein has generalized what Hertz wants to say about the language of physics to apply to the whole of language: metaphysical problems arise because we almost systematically misconceive its workings; they can only be dispelled on the basis of a "deep" understanding of them, which itself is only possible on the basis of alternative formulations to the conventional ones that have got us into trouble in the first place. Like Hertz, who could marvel at *"how easy it is to attach to fundamental laws considerations which are quite in accordance with the usual modes of expression in mechanics, and yet which are an undoubted hindrance to clear thinking"* (Hertz, 1894, 6, [my translation]), Wittgenstein is concerned with the problem that our usual ways of speaking, like Newton's, conceal as much as they reveal of reality rather like spectacles that allow us to read but are not themselves "seen" (Wittgenstein 1958, I, 103). We are held captive by a picture (Wittgenstein, 1958 I, 115) both in a general sense and in a specific sense. Generally philosophers have a picture of language as exclusively a matter of representing the world, that at once 1) leads them to consider the logical basis of representation as constituting an ideal language, and 2) systematically prevents them from seeing the most obvious fact about it, namely that there are a myriad speech acts which are both non-representational and irreducibly different from one another (for a list see Wittgenstein, 1958, I, 23). Wittgenstein's discussion of the nature of philosophy thus begins with a consideration of how we tend to become fixated upon an ideal language when we do philosophy. Specifically, we are all metaphysicians inasmuch as we are so tied to specific, one-sided ways, of seeing things that we forget that it is legitimately possible to understand words in startlingly different ways than we normally do.

So we associate the word "cube" with the drawing of a cube, but there is also a very real sense in which it describes a triangular prism as well (Wittgenstein, 1958, I, 139). Although the latter is always there we need to be reminded of that fact occasionally. What we need in this situation is "eine übersichtliche Darstellung" or a synoptic view (in Wittgenstein's own preferred English rendering of the German phrase, Wittgenstein, 1958 I, 122), which shows us what other possibilities there are. We need a "depth grammar" or logical grammar (Wittgenstein, 1958 I, 664) that diverts our focus from the seductions of surface grammar and permits us to liberate ourselves from our "grammatical illusions" (Wittgenstein, 1958 I, 110) and focus our attention upon a number of simple, commonplace truths, whose very obviousness prevents us from grasping them.

In the preface to the *Investigations* Wittgenstein had already compared his task to that of an artist (in ways reminiscent of Cézanne painting his various pictures of Mont Ste. Victiore from different points of view) making sketches of a landscape from different directions in order to get a comprehensive overview of something that was most definitely visible but which could not be taken in with a single glance. It is precisely in aid of obtaining said "overview" that Wittgenstein speaks of the needs to discover or invent intermediate cases (i. e., language games other than that of representation) to help lead the philosopher away from the confusing exceptional cases and back to the rule, i. e., away from the tendency to want to speculate about the nature of thought and reality and back to the things we actually do with words (Wittgenstein, 1958, I, 122). Just as in Hertz an alternative to time-honored ways of thinking in physics shows us how those ways of thinking go astray, so Wittgenstein wants to "teach us differences" to paraphrase Kent in *King Lear*, which was another of the mottos he considered for the *Investigations*. Similarly the metaphor of being entangled in our own rules is no less suggestive of Hertz. Further, Wittgenstein likens the confusions of philosophers to people inexperienced with machinery, who confuse an idling engine with one that is running (Wittgenstein, 1958 I, 132); whereas Hertz will describe the role of "forces" in physics as "idling side-wheels" that have nothing to do with the machine's functioning (Hertz, 1894, 14). Thus on Wittgenstein's view the traditional philosopher is "whipped" (*gepeitscht*) by questions that seem logical but in fact are not answerable (Wittgenstein, 1958, I, 133), because they are not questions at all; whereas in the very passage that Wittgenstein contemplated as motto for the *Investigations* Hertz speaks of the mind of the physicist ceasing to be "tormented" (*gequält*) by the contradictions in a concept like force or electricity (Hertz, 1894, 9). What the philosopher needs to discover is the spectacles on his nose to put his vain questioning to rest. For that he needs refreshing alternatives that show us what cannot be said about concept formation.

In his early work Wittgenstein invented a technique to fulfil the function of just that sort of refreshing alternative. His aim as a critic of metaphysics was to show that the very idea of a theory of logic was not only superfluous but confusing. His technique for clarifying the matter was the invention of truth tables. They enabled him to solve Frege's problem about the nature, number and properties of logical axioms. However, solve is the wrong word for truth tables turn out to be a mechanical technique for showing with absolute clarity what propositions are tautologies belonging to logic and distinguishing them from impossible propositions (i. e., contradictions) and empirical propositions.

That technique of representation made the whole debate over axioms superfluous – and obviously so. Now Gottlob Frege has already clearly envisaged the concept of the truth table himself without working it out in detail. It was left to Wittgenstein (and, independently of him, E. L. Post) to develop the idea into a decision procedure for distinguishing tautologies and contradictions from substantivie propositions. In effect, Hertz had shown him the way to understanding things that were in Frege in a more profound way than Frege did himself (Janik, 2006, Ch 97–121). This was his "Hertzian" way of "showing" the things about logic that Frege and Russell were confusingly trying to "say".

In his mature philosophy the matter was considerably more complicated; for it became increasingly clear to Wittgenstein that, contrary to the situation in the *Tractatus*, a single technique could never suffice to show us how language works; for it is as complex as the human organism itself. He would assemble all sorts of reminders of the complexity and nuances of human knowing and acting in aid of disabusing us of the desire to ask oversimplified questions, employ misleading examples and form crude judgments on the basis of misconstruing the logic of language.

Thus in his later philosophizing he wants us to expand our field of intellectual vision by considering alternatives to conventional ways of thinking which themselves tend to oversimplification: "Consider for example the proceedings that we call 'games'. I mean board-games, card-games, ball-games, Olympic games, and so on. What is common to all? (Wittgenstein, 1958, I, 66). Such a concept of philosophy has a therapeutic aspect: "A main cause of philosophical disease – one sided diet: one nourishes one's thinking with only one kind of example" (Wittgenstein, 1958 I, 593). Producing illuminating alternatives to confusing conventional modes of thinking makes the solution to philosophical problems superfluous because the questions in terms of which those problems are formulated "dissolve" when we stop trying to think about them and take a look at how we actually do things. So there is no need for explanation in philosophy: *"Philosophy simply puts everything before us, and neither explains nor deduces anything. Since everything lies open to view there is nothing to explain. For what is hidden, for example, is of no interest to us"* (Wittgenstein, 1958, I 126). Understanding how language has put us on the wrong track in the first place puts our minds to rest. All this basically goes back to Hertz (although in a considerably more complex way that can be presented here). In short, what is sometimes called Wittgenstein's "quietism" is not rooted in his contrariness with respect to traditional modes of philosophizing but in a concept of what it is to philosophize that he developed out of his encounter with Heinrich Hertz. It is the "Hertzian" strain in his thinking that explains why he was more interested in striking ideas that liberate the imagination than he was in the search profound truths in philosophy (as was, say, Bertrand Russell).

But what does this imply for our understanding of Heinrich Hertz. At the very least the "Wittgenstein episode" in the reception of his thought, if I am right about it, underscores the idea that Hertz's philosophy is radically different from his science. It entails inter alia (I would certainly not be so silly as to say that the story I have told here is the whole story) the idea that there is a radically new form of hermeneutics, which is, after all, what the Wittgenstein idea of "showing" is all about, already in Hertz. The idea that Hertz's philosophy of science is fundamentally hermeneutical is not new

(Kockelmans, 2002) but the idea that there is a hermeneutics of radical immanence ("showing") is. That theme should most definitely be an essential element on the future agenda of Hertz scholarship.

3.1 Works Consulted

Babich, Babette E. 2002: *Hermeneutic Philosophy of Science, Van Gogh's Eyes and God: Essays in Honor of Patrick A. Heelan, S. J.* Dordrecht: Kluwer (Boston Studies in Philosophy of Science; Volume 225).

Baird, Davis; Hughes, R. I. G. and Alfred Nordmann 1998: *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher.* Amsterdam: Kluwer (Boston Studies in Philosophy of Science; Volume 198).

Boltzmann, Ludwig 1905: *Populäre Schriften.* Leipzig: Johann Ambrosius Barth.

Cassirer, Ernst 1950: *The Problem of Knowledge.* Translated by William H. Woglom and Charles W. Hendel. New Haven: Yale.

Hertz, Heinrich 1894: *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt.* Leipzig: Johann Ambrosius Barth.

Janik, Allan 2006: *Assembling Reminders: Studies in the Genesis of Wittgenstein's Concept of Philosophy.* Stockholm: Santérus.

Kockelmans, Joseph J. 2002: On the Interpretive Nature of Hertz's Mechanics. In: Babich 2002, Pp. 97–116.

Mulligan, Joseph F.: The Reception of Heinrich Hertz's Principles of Mechanics by His Contemporaries. In: Baird et al. 1998, 173–182.

Wittgenstein, Ludwig 1958: *Philosophical Investigations.* [dual language edition]. Edited by G. E. M. Anscombe and Rush Rhees. Oxford: Blackwell. [With standard references by paragraph number]

Wittgenstein, Ludwig 1998: *Culture and Value.* [dual language edition]. Edited by Georg Henrik von Wright in Collaboration with Heikki Nyman. Revised Edition of the Text by Alois Pichler. Translated by Peter Winch. Oxford: Blackwell.

Figure 4.1:
Ludwig Wittgenstein (1889–1951)
http://www.humboldt.edu/j̃wp2/naws.htm

Hertz, Wittgenstein, and the Instrumentalist Turn in the Philosophy of Science

John Preston (Reading, England)

Abstract: Hertz, Wittgenstein und die instrumentalistische Wende zur Wissenschaftsphilosophie

Waren Wittgensteins frühere Bemerkungen über Wissenschaft in Übereinstimmung mit den philosophischen Bemerkungen über Physik in Heinrich Hertz' *Die Prinzipien der Mechanik*? Hier meine ich, es gibt deutliche Unterschiede zwischen ihren Gesamtsystemen, ihren Meinungen über die Gesetze der Physik, und ihren Formen des Antirealismus. Obwohl Hertz seine *Mechanik* im Sinne von Kants Unterscheidung verstanden hat, was Wittgenstein später präzisierte, verwarf Wittgenstein deutlich die Vorstellung der Logik, mit der diese Unterscheidung verbunden war. Und obwohl Wittgenstein mit der Hertzschen *Mechanik* vertraut war, und von Hertz in manchen Aspekten beeinflußt war, hat er nicht dieses Buch oder andere Systeme der Mechanik im Sinne von Hertz interpretiert. Hertz hat seine *Mechanik* interpretiert als wahrheitswertige *Forderungen*, und wich vom wissenschaftlichen 'Realismus' nur insoweit ab wie er insistierte, daß unsere *Erkenntnis* von die Natur begrenzt ist. Wittgenstein jedoch hat die höheren wissenschaftlichen Gesetze als *Regeln* abgebildet. Seine Auffassung von wissenscaftlichen Gesetzen und Theorien ist eine Art von *Instrumentalismus*. Kein Zweifel, Wittgenstein war inspiriert dadurch, daß er Hertz gelesen hat, nichtsdestoweniger ist die Beziehung zwischen Wittgensteins Wissenschaftsphilosophie und der von Hertz eine *kreative Zweckentfremdung*.

Across five decades, those few commentators on Wittgenstein who discuss the remarks on science which his early works feature often suppose that those remarks are not only influenced by, but also quite in line with, a correct reading of Heinrich Hertz's *The Principles of Mechanics*.[1] Sometimes these suppositions amount to the claim that the philosophy of science in the *Tractatus* is straightforwardly derived from Hertz's book.

[1] I am very grateful to the Arts and Humanities Research Board, an award from whose Research Leave Scheme enabled me to work on this article, and to Jesper Lützen, Alfred Nordmann, Allan Janik and Olivier Darrigol, who made useful comments when a short version of this material was presented at the Hertz symposium.

James Griffin, for example, takes it that Hertz's version of the picture theory – a picture theory confined to scientific discourse – occupied a central place in the *Tractatus*' thoughts about science (Griffin 1964, p. 102). Peter Barker, who should get the prize for the most detailed consideration of the *Tractatus*' remarks on science, says that 'Wittgenstein's conception of the nature of philosophy and science and of the distinction between them closely parallel those of Hertz in his *Principles*' (Barker 1980, p. 244), and that Wittgenstein's 'detailed discussion of mechanics (6.341ff.) is an application of the picture theory to the very problems that Hertz addressed in the Preface to the *Principles*' (ibid., p. 253). According to Brian McGuinness, Hertz's model of a system of point-masses gave Wittgenstein 'his theory of physics', and the *Tractatus* remarks on science, especially, are 'a demonstration that all fact-stating language falls under Hertz's description of mechanics' (McGuinness 2000, pp. 182, 195 note). More recently, albeit more generally, Hans-Johann Glock has suggested that in sections 6.3–6.372 of the *Tractatus*, 'science is treated along Hertzian lines' (Glock 1996, p. 364).

I want to enter some important reservations to such claims. I will argue that Wittgenstein did not get his philosophy of science from Hertz's book (unless by this we mean something quite unorthodox).

My conclusion has been partly foreshadowed by Wittgenstein's closest associate, Friedrich Waismann, who contrasted two ways of taking Hertz's fundamental law:

if we are *always* free to add such supplements [concealed masses and motions], the fundamental law becomes a mere form of representation. It would then be best expressed as a prescription saying: "Supplement the system with hidden masses and their hidden movements in such a way that the law of motion for the whole assumes such-and-such a form", which is like saying in the case of a geometrical problem: "Construct a circle corresponding to this ellipse which . . . ".

But the fundamental law can also be interpreted in another way. We only need to determine when the introduction of hidden masses is permissible and when not, by appealing to certain experiences; the fundamental law, combined with the assumption of hidden masses, then acquires a clear physical sense. (Waismann 1936?, p. 55).

Waismann then says of this second way of taking Hertz's fundamental law that 'This is at least the sense in which Hertz himself wanted it to be understood'. I think we ought to agree.

4.0.1 Hertz's Kantian Presentation

Hertz, as is well-known, presents his work on mechanics in terms of the familiar Kantian distinction between the *a priori* and the *a posteriori*. His entire text is divided into two books, in the first of which, he assures us, 'All the assertions made are *a priori* judgements in Kant's sense' (Hertz, § 1).[2] When considering the different 'images' or 'representations' of mechanics, he insists on distinguishing 'thoroughly and sharply

[2] All references to Hertz, unless otherwise noted, are to the English translation of Hertz 1894 (Hertz 1956).

between the elements in the image which arise from the necessities of thought, from experience, and from arbitrary choice' (ibid., p. 8). (His own famous criteria of *Zuläßigkeit, Richtigkeit*, and *Zweckmäßigkeit* clearly derive from these three categories). And he worries that an over-favourable opinion of the customary representation of the fundamental laws of mechanics 'must obviously arise from the fact that the elements of experience are to a certain extent hidden in them and blended with the unalterable elements *which are necessary consequences of our thought*' (ibid., p. 9, emphasis added).

The emphasized part of this last comment, I suggest, betrays the fact that Hertz had a *particular* conception of the *a priori*. In common with so many nineteenth-century thinkers, he thought of what is true *a priori* as being a matter of what is determined by the '*laws of thought*' (ibid., pp. 2, §1, §296, §734). So, for example, in his 'Concluding Note' on Book I, he assures us that all the results obtained in it are 'not obtained from experience but from the given laws of our intuition and thought, combined with a series of arbitrary statements' (ibid., §295). Whether or not Hertz's expressions 'laws of thought' and 'laws of... intuition and thought' go beyond what we now conceive of as the laws of logic, they certainly *include* the laws of logic. But this *psychologistic* conception of the nature of logic, inspired by Kant's conception even if not strictly in line with it, is something that Wittgenstein (following Frege) decisively *rejected*.

For Wittgenstein, it is true, logic is still concerned with thought, by virtue of reflecting on the nature of representation. Nevertheless, logic does not, as in the psychologistic conception, consist of necessary propositions describing how people (by and large) think, their basic mental operations. In the *Tractatus*, the propositions of logic, which Wittgenstein explicitly says we can 'do without' (6.122), describe *nothing*, but merely reflect rules for describing empirical reality, thereby embodying 'the necessary preconditions of symbolic representation' (Glock 1996, p. 16).

Further to this, simply because Wittgenstein's concern is with the possibility of representation *in general*, whereas Hertz's is with representation in mechanics only, there are important differences between their conclusions. On the one hand, where Hertz thought that there could be more than one logically admissible representation of mechanics that could *then* be assessed for correctness and appropriateness (p. 10), Wittgenstein would have denied that there could be more than one correct 'conceptual notation' (his version of the idea of a logically admissible form of representation). On the other hand, Wittgenstein would even more clearly have denied that there could be *fewer than one* logically admissible forms of representation (of mechanics, or of anything else). For Hertz, who inherits his account of logical permissibility from Kant, achieving logical permissibility is a matter of attaining a 'logically complete science' [*logisch vollendeten Wissenschaft*] (p. 10). His concern was that not all the currently available representations *were* logically admissible. Wanting to ensure that images of mechanics meet his three requirements, Hertz evidently thought that some of them *don't* do so, since they 'implicitly contradict the laws of our thought' (p. 2). He therefore envisaged throwing such images into a 'logically satisfactory form' (p. 40). For Wittgenstein, there simply cannot be a science (or any other kind of symbolism) that is in anything but *logically* perfect order. We cannot even, as it were, make logical mistakes (*Tractatus* 5.473, 5.4731), since a 'mistake' in logic nullifies *any* product, making the result nonsense. Wittgenstein thought only

that he could devise a (single) perspicuous 'notation' which would reveal the underlying order *already* present in any symbolism. This is why he didn't have Hertz's revisionary ambitions. Barker quite rightly points out that there is a real problem with Hertz's views here: all our 'images' or 'pictures' are *created by* thinking, 'so to be logically impermissible a picture must apparently contravene the laws governing its own creation, which seems impossible' (Barker 1980, p. 247). And he may well be right in suggesting that this is what Wittgenstein was criticizing when he said 'It is as impossible to represent in language anything that "contradicts logic" as it is in geometry to represent by its coordinates a figure that contradicts the laws of space, or to give the coordinates of a point that does not exist' (*Tractatus* 3.032). But this, I think, puts some important distance between Hertz and Wittgenstein.

4.0.2 The Status of the Rival Systems of Mechanics

If we ask how Hertz applies his Kantian distinction to the various 'images' or 'representations' of mechanics he discusses, we find that he thinks of all three as *empirically falsifiable rivals*. Indeed, in an important sense they aren't just different *'pictures'* of a single common content, they're more like different *models* (p. 1), or even different systems of mechanics (perhaps it might be better to say that they are poised uncomfortably between the two).

To say this is to disagree with several of the commentators I have mentioned. McGuinness, for example, says that the choice between Newtonian physics and Hertz's is 'simply a choice, which might be made *a priori*' (McGuinness 1990, p. 314). Barker takes the 'networks' of the *Tractatus* as 'different formulations of the *same* theory, Newtonian mechanics' (Barker 1979, p. 188, emphasis added). And Glock says that 'Hertz describes his presentation of mechanics as a reconstruction of Newtonian mechanics, which does not replace it, but provides a more coherent and surveyable presentation of it' (Glock 1992, p. 17).

But Hertz's own system, for example, is not just a different 'representation' of a common content which it completely shares with Newton's mechanics. Although the two do have some concepts, laws and equations in common, there are others which are *not* shared. As Jesper Lützen says in his wonderful book on Hertz's mechanics, 'Hertz set up an image of mechanics whose laws were not quite the same as those of conservative systems in usual mechanics, but only approximately so' (Lützen 2005, p. 234).

People are sometimes misdirected here, I think, by the famous comment Hertz made in his slightly earlier work, *Electric Waves*, according to which it is important not to 'confuse the simple and homely figure, as it is presented to us by nature, with the gay garment that we use to clothe it' (Hertz in Mulligan 1994, p. 192). In that earlier work, the 'simple and homely figure' is Maxwell's equations, and different 'gay garments' are various representations of the nature of electricity.[3] Different modes of representation [*Fassungen*], Hertz says, '*have essentially the same content*' (Hertz in Mulligan ibid.,

[3] Wittgenstein was aware of this comment. The *Tractatus*' metaphor of body and clothing (4.002) may be a nod to Hertz. But later, in the *Blue Book*, he remarks that 'It has been said that a model, in a sense, dresses up the pure theory; that the *naked* theory is sentences or equations. This must be

Figure 4.2:
Ludwig Wittgenstein (1889–1951)

http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/history/PictDisplay/Wittgenstein.html

p. 184, emphasis added). But this should not automatically make us think that in *The Principles of Mechanics* Hertz takes his terms '*Bild'* and '*Darstellung'* to mean what he earlier meant by either '*Fassung'* or '*Darstellung'*. That is, we must be open to the idea that Hertz doesn't just think of the three different '*Bilder'* as three gay garments with which one might clothe the very *same* set of equations.

Indeed, if Hertz's 'images' or 'representations' were really just different versions or formulations of the *same* underlying theory, it is hard to see how they could differ in their *Richtigkeit*, their correctness. The very fact that Hertz raises the question of whether and how they differ in this respect, together with his answer, which was that they *do* so differ, indicates that his *Bilder* and *Darstellungen* are more like different *models* rather than different formulations of the same theory.

We can see the status Hertz gives to the 'customary' (Newtonian-Lagrangian) and Energeticist representations if we consider his *verdicts* on them.

The Newtonian representation, although not yet logically permissible [*logische zulaßig*], *would* be logically permissible, he suggests, if it were, thrown into a logically satisfactory form (p. 40). It is correct [*richtig*] as far as we know, but its correctness beyond our present experience can only be decided empirically (pp. 40–41). And it is not yet appropriate [*zweckmaßig*], but it will be 'when rendered complete by suitable additions' (p. 40).

Hertz concedes that the Newtonian representation *is* correct [*richtig*] 'within the whole range of our experience up to the present' (p. 9). However, he suggests, some have been led to an exaggerated opinion of its correctness, thinking that it could not possibly be falsified or even altered by any future experience. This impression he traces to a violation of the Kantian distinction: the empirical elements and the unalterable elements which are necessary consequences of our thought are *hidden* and *blended* in Newton's laws. Hertz's comments here are a salutary reminder that even the fundamental laws of mechanics have an empirical aspect (or empirical applications) that cannot be regarded as empirically impregnable.

The energeticist representation is deemed not yet logically permissible (pp. 21-4), not correct (pp. 18-21), but better than the Newtonian-Lagrangian in terms of appropriateness (distinctness and simplicity) (pp. 17–18). Even to assess representations in terms of a feature like 'correctness', though, means thinking of them as *claims*, since what Hertz means by correctness is roughly what contemporary philosophers term 'empirical adequacy'.

4.1 The Status of Hertz's own Fundamental Law

Using the Kantian distinction which Wittgenstein will later sharpen, Hertz explicitly says that the entire empirical content of his representation of mechanics lies in a single statement, his fundamental law. That law, we are very clearly told, 'is stated as a hypothesis or assumption, which comprises many experiences, which is not contradicted

examined more closely later on' (Wittgenstein 1958, p. 6). But I cannot see that he ever undertook this examination.

by any experience, but which asserts more than can be proved by definite experience at the present time' (§315). As regards systems which appear to be acted upon by forces, systems, 'in which actions-at-a-distance, the forces due to heat and other causes of motion, not always fully understood, are in operation', Hertz says that the fundamental law 'bears the character of a hypothesis which is in part highly probable, in part fairly probable, but which, as far as we can see, is always permissible' (§317). However, saying that it is 'always permissible' doesn't (*pace* Wittgenstein, as we shall see) mean that it cannot be falsified, but merely that it is always logically acceptable, i. e., non-contradictory. Hertz clearly conceives of his fundamental law, which embodies the entire empirical content of his system, as a falsifiable and confirmable empirical *hypothesis*.

As a result, Hertz supposes his own representation of mechanics to be (a) empirically testable against other representations such as the Newtonian and energeticist ones, as he claims (pp. 3, 4, 41?), and (b) testable in *other* ways (e.g. simply for correctness (pp. 10, 18), or in some unspecified way (p. 30, §381).

4.2 The Status of Hertz's Concealed Masses

Wittgenstein had a very definite view of Hertz's 'concealed masses' [*verborgene Massen*]. In his *Notebooks*, he remarked that 'Mechanics is *one* attempt to construct all the propositions that we need for the description of the world according to a *single* plan. (Hertz's invisible masses). Hertz's invisible masses are admittedly pseudo-objects [*Scheingegenstände*]' (Wittgenstein 1979b, p. 36). Peter Hacker explains what Wittgenstein means thus:

When Hertz remarks that, if something does not conform to his laws of mechanics, there must be invisible masses in the vicinity of the object to account for the deviation, it appears as if he is invoking an *a priori* law of nature. But it is not a property of the objects described in classical mechanics. Rather, it is a property of the system of description, which we have chosen to adopt. (Hacker 2001, p. 167. See also Hacker 1986, p. 199, Hacker 1996, p. 120). Likewise, for Wittgenstein according to Glock, Newton's first law of motion is not an empirical proposition which is up for grabs, but a "norm of representation", which guides the physicist's reaction to recalcitrant evidence. If a body does not rest or move with constant motion along a straight line, we postulate that some mass acts upon it; and if there are no visible masses, we postulate "invisible masses", as did Hertz' (Glock 1996, p. 343).

It is not so obvious, though, that Hertz took this same attitude. What he says is that it is '*more probable* [*warscheinlicher*] that the tangible bodies are not the only masses, nor their visible motions the only motions of these systems' (§317, emphasis added). I submit that he just wouldn't have used the phrase 'more probable' if he thought concealed masses were pseudo-objects! And although Hertz's concealed masses must be among the masses discussed in Book I,[4] the *a priori* part of his representation, which is the *only* place they should be discussed if Wittgenstein was right, they are in fact

[4] I am grateful to Jesper Lützen for saving me from an error here.

mentioned by name and discussed only in (the Introduction and) Book II, the *empirical* part of Hertz's representation.

In this same paragraph (§317), however, is one comment that *could* be taken as supporting the idea that Hertz is a kind of conventionalist. He says 'It appears that assumptions can always be made with regard to these concealed motions such that the complete systems obey the fundamental law'. Lützen has forcefully argued that Hertz tried to put the burden of proof onto his opponents, requiring them to show that no mechanism of concealed masses would explain the motions of observable masses. ('[I]nstead of proving the applicability of his mechanics by constructing mechanics of hidden masses that would account for the simple forces of nature such as gravitation and electromagnetic forces, he put the burden of proof on the shoulders of his opponents. They had to prove that his system did not and could not work' (Lützen 1995, p. 72)). This would be reason for thinking that Hertz takes his system to be unfalsifiable in that failure to specify a system of hidden masses that would produce the right results will never show that no such system will do so. And this seems to point in favour of Wittgenstein's reading.

Lützen's discussions of the merits and demerits of Hertz's mechanics are worth considering in this regard. Hertz never *showed* that his image could deal with all the situations the customary image describes in terms of forces. Rather, he insisted that the burden of proof was on his opponents, to show that it could not. By finding 'an abstract method for explaining forces kinematically', he 'sidestepped' (Lützen 2005, p. 213) the problem of describing the motions of hidden masses in mechanical detail.

This, it has to be said, is a deeply unsatisfactory response to the challenge in the absence, so marked in Hertz's text, of any examples of how his mechanics is supposed to work. Hertz, as Lützen notes, *evaded* the question of possible limitations of the 'connections' of his system, and thus the question of whether it is possible to 'specify a natural, physical connection' (Hertz ibid., p. 11) corresponding to the equations between coordinates (Lützen ibid., p. 197). He blithely consigned the detailed investigation of the connections between components of material systems to 'experimental physics' (Hertz ibid., p. 27), rather than to mechanics. Lützen rightly complains that this appeal to 'experimental physics' is a rhetorical trick, designed to shift the burden of proof onto opponents (Lützen ibid., p. 267).

Hertz certainly *intended* his fundamental law (and thus his image of mechanics as a whole) to be an empirical and falsifiable hypothesis. He identifies it as the only empirical principle of his system. But in fact his stance on the burden of proof, insisting that his opponents have to prove that no conceivable system of hidden masses would explain the observed motions of visible masses, means that he *treats* his law and his image as unfalsifiable. By his own lights, he should have regarded this as a *problem*, not as an achievement. In the face of plausibility arguments (like that of G. F. Fitzgerald), the fact that none of Hertz's critics was able to prove that no such construction could yield a system which obeys the fundamental law (Lützen ibid., p. 274) should come as little comfort.

Hertz, then, conceived of his idea of concealed masses in the same way as he conceives his fundamental law, as hypotheses. If he had conceived them otherwise, he could and would have said so. After all, he had the distinction between hypothesis and '*analogy*',

which James Clerk Maxwell introduced, and no-one knew Maxwell's works better than Hertz! Nineteenth-century physicists were quite prepared to use this concept of analogy when they were putting forward models which were not to be taken literally. But Hertz only ever uses the term '*analogie*' to characterise his *geometry*, i. e. the 'mathematical *form*', as opposed to the 'physical *content*' of his image (p. 29, emphasis added). He *always* calls his idea of concealed masses an hypothesis.

Thus Hertz did *not* share Wittgenstein's view that his concealed masses were 'pseudo-objects'. Wittgenstein (either deliberately or inadvertently) interpreted Hertz's system in a way very different from that which Hertz intended. This is again going to affect the idea that the philosophy of science in the *Tractatus* is Hertzian. Waismann is a better guide to Hertz in this respect.

4.2.1 Philosophy of Science in the *Tractatus*

Wittgenstein treats a very limited range of topics in philosophy of science within a very few pages of the *Tractatus*. Viewing propositions as models or 'pictures' [*Bilder*], his general problem is to make sense of all genuinely meaningful discourse. He must establish that the different kinds of propositions apparently found in science are *either* propositions with sense (pictorial propositions) *or* propositions without sense (tautologies or contradictions) *or* meaningless pseudo-propositions (nonsense), or that despite having some legitimate role, they are not really *propositions* at all.

Wittgenstein is concerned with four different kinds of scientific statements: empirical generalisations (not discussed explicitly, unless one counts 6.1231); the 'law of induction' (6.31, 6.363-6.37); propositions such as the 'law of causality' (6.32, 6.321, 6.36) of least action (6.321, 6.3211), the law of conservation (6.33), and laws of continuity and least effort in nature (6.34); and (apparently as a subclass of this third class) systems of mechanics (6.341ff.). *Empirical generalisations* describe objects by virtue of being molecular propositions, truth-functions of elementary propositions. His verdict on the 'law of induction', too, is clear: it is a proposition with sense (6.31), a picture. These constitute straightforward applications of the picture theory of meaning, and I shall not be concerned with them here.

4.2.2 'Principles of Nature'

Although the propositions discussed between 6.32 and 6.34 are a mixed bag, Wittgenstein treats them all as '*a priori* insights about the forms in which the propositions of science can be cast' (6.34). It's notable that he explicitly counts these 'principles' and 'laws' as '*Sätze*' (6.34). But this doesn't yet mean they fall within the category of pictures. Indeed, in counting them as *a priori* insights, he obviously thinks they are *not* themselves pictures, i. e., not really *propositions* at all. Following 6.33, we have to think of such 'propositions' not as expressing *a priori* beliefs (beliefs being what they would have to express in order to be pictures), but as expressing *a priori knowledge* about possibilities, possibilities of logical form.

4.2.3 Systems of Mechanics

Laws deriving from particular scientific theories constitute a definite problem for the picture conception of meaning, since they seem to be neither logically necessary nor straightforwardly contingent. Wittgenstein explains their role and status in terms of what I shall call the *net metaphor*, in which different systems of mechanics are famously likened to different 'networks', each of which is capable of capturing any and all empirical phenomena that can be placed under it:

Newtonian mechanics, for example, imposes a unified form on the description of the world. Let us imagine a white surface with irregular black spots on it. We then say that whatever kind of picture these make, I can always approximate as closely as I wish to the description of it by covering the surface with a sufficiently fine square mesh, and then saying of every square whether it is black or white. In this way I shall have imposed a unified form on the description of the surface. The form is optional, since I could have achieved the same result by using a net with a triangular or hexagonal mesh .... The different nets correspond to different systems for describing the world. (6.341).

And now we can see the relative position of logic and mechanics. (The net might also consist of more than one kind of mesh: e. g. we could use both triangles and hexagons.) The possibility of describing a picture like the one mentioned above with a net of a given form tells us *nothing* about the picture. (For that is true of all such pictures.) But what *does* characterise the picture is that it can be described *completely* by a particular net with a *particular* size of mesh. (6.342).

One notable thing about these remarks is that they occur first in Wittgenstein's notebook for December 1914 (Wittgenstein 1979a, p. 35ff.), then again in the *Prototractatus*, and then again, almost wholly unchanged, in the *Tractatus* itself. And in the midst of their first occurrence he parenthetically comments (specifically *a propos* what becomes TLP 6.342) 'This I have felt for a *long* time' (ibid., p. 36). (One might wonder whether, or that, there was *anything* philosophical that Wittgenstein had felt 'for a *long* time' by December 1914!). These pronouncements on the nature of scientific laws and theories have, perhaps not unfairly, been deemed 'typically obscure' (Musgrave 1980, p. 65). And indeed I think that, despite a certain agreement among the few commentators who have pronounced on them, there *is* a problem about how to read these remarks. One the one hand, Wittgenstein says that 'the laws of physics' *speak* (indirectly) about the objects of the world (6.3431). But if they speak, don't they do so by *saying*? So mustn't they be *propositions*? After all, Wittgenstein insists that every *Satz must* have a sense (4.064).[5]

On the other hand it seems that these remarks present theoretical laws as, strictly speaking, *unfalsifiable*, since a change to such a network consists in the alteration of its domain of application, not in its falsification (properly so-called). For Wittgenstein, therefore, a system of mechanics such as the Newtonian system is less like a claim than like a *rule*, which cannot itself be empirically falsified. So we may agree with commentators such as Black, Griffin, Anthony Kenny and Howard Mounce that Wittgenstein's solution to his original problem of how to fit theoretical laws into the picture theory is

[5] However, at 3.13 he does seem to imply that propositions *with a content* have sense, which might be thought to allow the possibility of propositions *without* content.

to deny that they are, properly speaking, statements or propositions at all. (Bipolarity, being capable of being true or false, is for him *essential* to being a proposition). A system of mechanics, in the *Tractatus*, is not a description of the world, but a means for generating descriptions of the world. As such, these systems and their laws cannot be assessed in terms of truth or falsity, but only (or at least primarily) in terms of their usefulness in generating descriptions which themselves can be assessed as true or false. That does seem to make sense of the idea that the laws of physics speak *indirectly* about the objects of the world (6.3431). It isn't *explicit* in the *Tractatus*, but Wittgenstein there seems to treat laws of mechanics as rules rather than propositions (pictures). This *does*, however, become more explicit in Wittgenstein's subsequent work. In his lectures at Cambridge during 1932-1933, for example, he explicitly likens the laws of science to both norms and rules:

Whenever we say that something *must* be the case we are using a norm of expression. Hertz said that wherever something did not obey his laws there must be invisible masses to account for it. This statement is not right or wrong, but may be practical or impractical. Hypotheses such as 'invisible masses', 'unconscious mental events', are norms of expression. They enter into language to enable us to say there *must* be causes. [...] We believe we are dealing with a natural law *a priori*, whereas we are dealing with a norm of expression that we ourselves have fixed. Whenever we say that something must be the case we have given an indication of a rule for the regulation of our expression, as if one were to say "Everybody is really going to Paris. True, some don't get there, but all their movements are preliminary" (Wittgenstein 1979b, p. 15).

The necessity of scientific laws, that is, is to be accounted for as the result of a human *determination* (roughly: not to count anything as a counterexample). Those who were closest to Wittgenstein certainly understood him to be putting forward this same idea. There is little reason to think that either the first generation of such figures, Wittgenstein's contemporaries (Ramsey, Schlick, and Waismann), or the second generation, his pupils and the philosophers of science he inspired (Watson, Toulmin, Hanson, Harré) were wrong to interpret him thus.

The *Tractatus* thus manifests a kind of incipient 'instrumentalism', one that became more explicit in Wittgenstein's subsequent teachings, but it is not one which is shared by Hertz. We have already seen how Hertz thinks of his own fundamental law, his own concealed masses, and other 'images' or 'representations' of mechanics. He never shows any tendency to think of systems of mechanics as rule-like, rather than claim-like. He does, of course, occasionally use the concept of a rule. He says, for example, that 'If we try to understand the motions of bodies around us, and to refer them to simple and clear rules [*Regeln*], paying attention only to what can be directly observed, our attempt will in general fail' (p. 25). But this only confirms that he doesn't distinguish between rules and claims.

This makes it implausible that Hertz influenced the *Tractatus* philosophy of science in this respect. Wittgenstein would have to have *misunderstood* Hertz pretty comprehensively for this to be so. The *Tractatus*' view of science may be something of an uncomfortable *half-way house*, caught between the picture theory and the explicitly instrumentalist position his views later became. Perhaps if Wittgenstein had recognised

this, it would have supplied another reason for him to think that the categories of proposition allowed by the picture theory were too few and limited?

4.2.4 Conclusion: Hertz's Anti-realism, and Wittgenstein's

Wittgenstein, then, undoubtedly took over a significant chunk of Hertz's terminology and apparatus. But he used these for purposes to which Hertz had not put them, and developed conclusions which Hertz would not have accepted. The fact that Wittgenstein's concern was representation in general, whereas Hertz's was representation in mechanics, meant that although the former took over the latter's account of representation, he used it to show that the fundamental laws of mechanics, which Hertz thought of as claims, were not claims at all.

However much it exercised twentieth-century philosophers, the 'theory of meaning' was no concern of Hertz's. He had no theory of meaning, indeed he hardly mentioned meaning, and therefore there is no reason to think of him as a semantic anti-realist. *Pace* Wittgenstein and many Wittgensteinians, there is in Hertz's work no suggestion whatsoever that his own representation of mechanics or the single fundamental laws that embodies its empirical content is anything other than an hypothesis (e. g. a convention, a rule, or a 'norm of representation'). Hertz (unlike Boltzmann) did not share Wittgenstein's tendency to label certain apparently meaningful combinations of words meaningless, and what he says is compatible with the orthodox Kantian position that claims whose content goes beyond our possible experience are meaningful, even if their truth-values are humanly unknowable.

Wittgenstein, though was (or at least *became*) a semantic anti-realist about scientific theories. His philosophy of science is *semantically* instrumentalist because it urges us to treat scientific models or representations as (in Marie McGinn's words) 'procedure[s] for generating descriptions of the world' or 'principles which guide our construction of descriptions of the world' (McGinn 1999, p. 510), rather than 'descriptions of the world'. This instrumentalist aspect of his philosophy of science was Wittgenstein's innovation: he took it 'from' Hertz *at most* in that Hertz's *practice* suggested it, but not because Hertz had officially propounded it.

4.2.5 References

Barker, P. (1979): 'Untangling the Net Metaphor'. In: *Philosophy Research Archives* **5**, pp. 182–199.

Barker, P. (1980): 'Hertz and Wittgenstein'. In: *Studies in History and Philosophy of Science* **11**, pp. 243–256.

Black, M. (1964): *A Companion to Wittgenstein's Tractatus.* Cambridge: Cambridge University Press.

Glock, H. J. (1992): 'Cambridge, Jena or Vienna? – The Roots of the *Tractatus*'. In: *Ratio* **5**, pp. 1–23.

Glock, H. J. (1996): *A Wittgenstein Dictionary.* Oxford: Blackwell.

Griffin, J. (1964): *Wittgenstein's Logical Atomism.* Oxford: Oxford University Press.

Hertz, H. R. (1893): Introduction to *Electric Waves.* Reprinted in J. F. Mulligan (ed.): *Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894): A Collection of Articles and Addresses.* New York and London: Garland 1994, pp. 163–192.

Hertz, H. R. (1894): *Gesammelte Werke, Band III: Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt.* Ed. P. Lenard, intr. H. L. von Helmholtz. Leipzig: J. A. Barth. Translated as *The Principles of Mechanics, presented in a new form*, trans. D. E Jones & J. T. Walley, intr. R. S. Cohen. New York: Dover Publications 1956.

Kenny, A. J. P. (1973): *Wittgenstein.* Harmondsworth: Penguin.

Lützen, J. (1995): 'Renouncing Forces, Geometrizing Mechanics. Heinrich Hertz's *Principles of Mechanics*'. Copenhagen University Mathematical Institute, Preprint Series no. **22**.

Lützen, J. (2005): *Mechanistic Images in Geometric Form: Heinrich Hertz's Principles of Mechanics.* Oxford: Oxford University Press.

McGinn, M. (1999): 'Between Metaphysics and Nonsense: Elucidation in Wittgenstein's *Tractatus'*. In: *The Philosophical Quarterly* **49**, pp. 491–513.

McGuinness, B. F. (1990): *Wittgenstein, A Life: Young Ludwig, 1889–1921.* Harmondsworth: Penguin.

McGuinness, B. F. (2001): *Approaches to Wittgenstein: Collected Papers.* London: Routledge.

Mounce, H. O. (1981): *Wittgenstein's Tractatus: An Introduction.* Oxford: Basil Blackwell.

Musgrave, A. (1980): 'Wittgensteinian Instrumentalism'. In: *Theoria* **2**, pp. 65–105.

Waismann, F. (1936?): 'Über Hypothesen' translated as 'Hypotheses'. In his *Philosophical Papers.* Ed. B. F. McGuinness. Dordrecht: D. Reidel 1977.

Wittgenstein, L. (1961): *Tractatus Logico-Philosophicus.* Trans. D. F. Pears & B. F. McGuinness. London: Routledge & Kegan Paul.

Wittgenstein, L. (1958): *The Blue and Brown Books.* Oxford: Blackwell.

Wittgenstein, L. (1979a): *Notebooks 1914–1916.* Ed. G. H. von Wright & G. E. M. Anscombe. Trans. G. E. M. Anscombe. Oxford: Blackwell (2^{nd} edition).

Wittgenstein, L. (1979b): *Wittgenstein's Lectures.* Cambridge 1932–1935. Ed. A. Ambrose. Oxford: Blackwell.

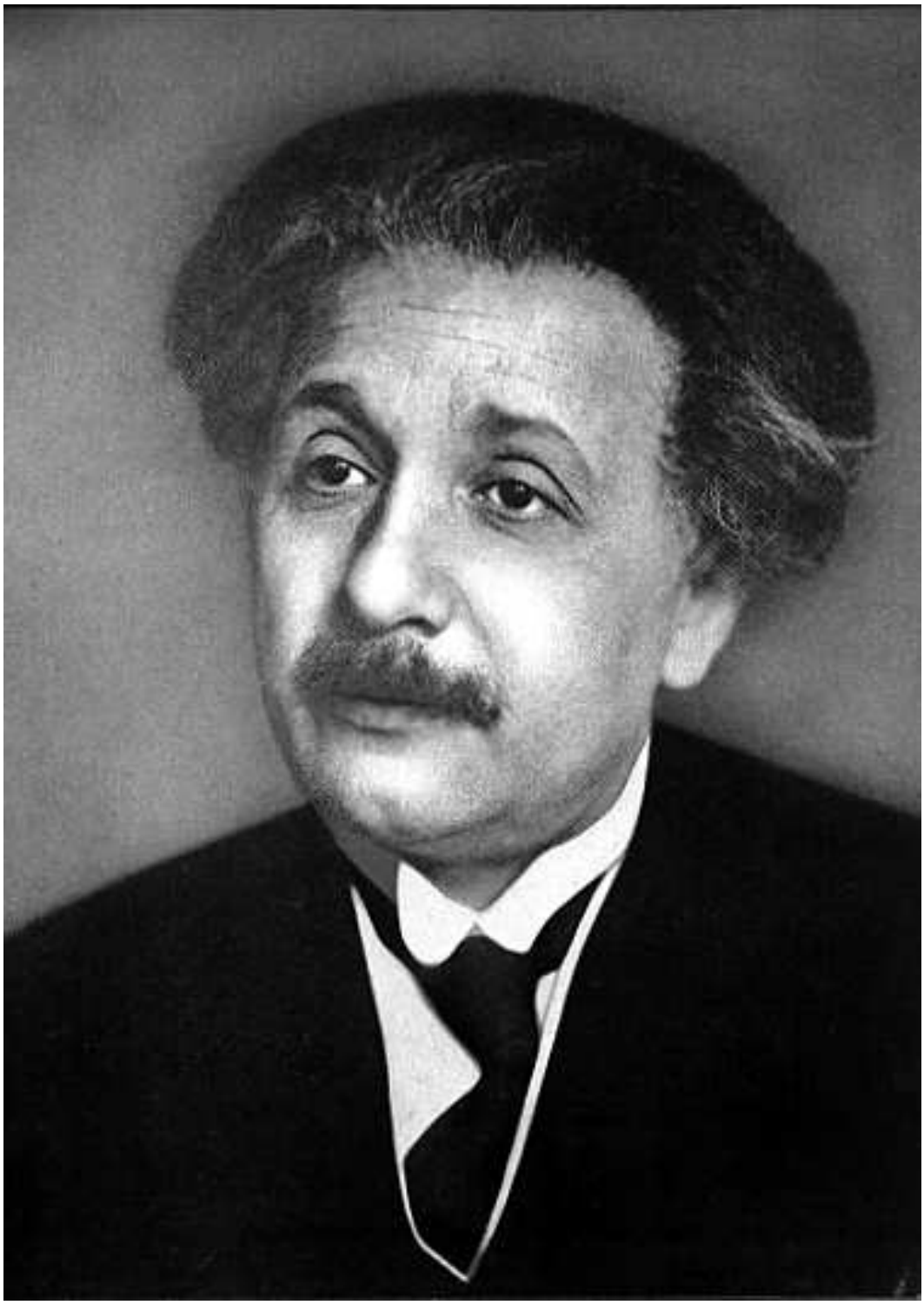


Figure 5.1:
Albert Einstein (1879–1955)

Hamburger Sternwarte

Hertz's methodology and its influence on Einstein

Giora Hon (Haifa, Israel) and Bernard R. Goldstein (Pittsburgh, USA)

Abstract: Die Methodologie von Hertz und sein Einfluß auf Einstein

1884 publizierte Hertz genaue und kritische Analyse von Maxwells Gleichungen. Hertz versuchte in seinem Beitrag die Gültigkeit der Maxwellschen Gleichungen zu zeigen, sogar wenn man mit der Prämisse sich widersprechender Theorien beginnt. Hertz charakterisierte explizit Maxwells Theorie als asymmetrisch, eine Eigenschaft, die ihn nicht befriedigte. Deshalb veränderte er die Gleichungen für die elektrischen und magnetischen Kräfte mathematisch, indem er sie symmetrisch umformte und so erreichte, daß die beiden Beschreibungen der Kräfte austauschbar wurden. Jedoch als Folge seiner experimentellen Arbeit über elektrische Wellen akzeptierte Hertz nicht länger die Gültigkeit seiner Ableitung der Gleichungen; stattdessen wählte er die axiomatische Methode. Einsteins Entscheidung, die zwei Prinzipien seiner Relativitätstheorie von 1905 zu fordern, erinnert an Hertz' Entscheidung, die Gleichungen zu fordern. Aber dieser Einfluß wirkte sich nicht auf Einsteins Anschauung bzgl. der Asymmetrie aus, weil sie aufgrund physikalischer Argumente entfernt werden mußte, nicht aufgrund mathematischer Kunstgriffe wie Hertz es getan hatte. Für Einstein war *Ununterscheidbarkeit* das Schlüsselkonzept, nicht die *Vertauschbarkeit*. Nichtsdestoweniger bildete Hertz' bahnbrechender Versuch, mit der asymmetrischen Natur von Maxwells Theorie zu ringen, die Grundlage, die Einsteins sorgfältige physikalische Vorgehensweise zu diesem Problem verdeutlichte.

In 1884 Hertz published a detailed and critical analysis of Maxwell's set of equations. Hertz attempted in this paper to show the validity of Maxwell's set of equations even if one starts with the premises of opposing theories. Hertz explicitly characterized Maxwell's theory as asymmetrical, a feature with which he was not satisfied. He therefore manipulated the equations for the forces of electricity and magnetism mathematically, recasting them symmetrically, thus making the two descriptions of the forces interchangeable. However, in the wake of his experimental

work on electric waves, Hertz no longer accepted the validity of his derivation of the equations; instead, he opted for the axiomatic approach. Einstein's decision to postulate the two principles of his theory of relativity of 1905 is reminiscent of Hertz's decision to postulate the equations. But this line of influence did not affect Einstein's view of asymmetry, for it had to be removed by physical arguments, not by mathematical manipulations as Hertz had done. For Einstein *indistinguishability* was the key concept, not *interchangeability*. Nevertheless, Hertz's pioneering attempt to grapple with the asymmetrical nature of Maxwell's theory formed the background against which Einstein clarified his thoroughly physical approach to the problem.

Heinrich Hertz died at the early age of 37; nevertheless, in this short lifetime he became a leading classical physicist and an outstanding philosopher.[1] Indeed, his contributions are highly regarded both for his experimental originality and for his theoretical insights. In 1884 Hertz embarked on a detailed and critical analysis of Maxwell's set of equations: "On the Relations between Maxwell's Fundamental Electromagnetic Equations and the Fundamental Equations of the Opposing Electromagnetics." This major undertaking preceded his famous *tour de force*: proving experimentally that electric waves exist. Hertz attempted in this paper

> to demonstrate the truth of Maxwell's equations by starting from premises which are generally admitted in the opposing system of electromagnetics, and by using propositions which are familiar in it.[2]

That is, Hertz sought to show the validity of Maxwell's set of equations even if one starts with the premises of opposing theories, perhaps alluding to the viewpoint of his mentor, Hermann von Helmholtz. In so doing, Hertz did not introduce the ether in the derivation of the equations. Hertz distanced himself from the assumption of an ether or, at least, he did not ascribe to it the importance it had in Maxwell's original theory. At stake then was the issue of derivation.

Hertz's wish to construct a "bridge" between the opposing views is expressed in the principle that guides him throughout the paper, namely, "the principle of the unity of electric force". He then elaborated another principle, that of "the unity of magnetic force".[3] Thus, according to Hertz, "the essential step in this reasoning is the assumption

[1] Baird, Hughes, and Nordmann 1998.

[2] Hertz 1896, 289; *idem* [1884]/1895, 313: *"Ich habe im Vorhergehenden versucht, die Gültigkeit der Maxwell'schen Gleichungen nachzuweisen auf Grund von Prämissen, welche auch von der gegnerischen Elektrodynamik zugegeben werden und unter Benutzung von Schlussreihen, welche dieser Elktrodynamik geläufig sind."* Cf. Buchwald 1994, 198.
By "opposing system" Hertz meant any electrodynamics which could accommodate Neumann's potential law: see Hertz 1896, 276 n. 1 and *idem* [1884]/1895, 298 n. 2. On Neumann's potential law, see Archibald 1989.

[3] Hertz 1896, 274; *idem* [1884]/1895, 297: "... der Einheit der elektrischen und ... der Einheit der magnetischen Kraft ... bezeichen könnte ..."

that only *one* kind of magnetic force exists."[4] Hertz distinguishes between the electric and the magnetic force, claiming, however, that each force is unified in the sense that different sources yield the same kind of force.

Perhaps the clearest statement of Hertz's intentions appears in a paper which he published in the following year. Hertz explicitly writes that his motivation is to "make the magnetic and electrostatic systems change places [*Platz vertauschen*]."[5] He sought to establish, first theoretically and then experimentally, that electrostatic force and electromagnetic induction are interchangeable. Thus, he writes,

> in the laws of electric induction we need only interchange the words "electric" and "magnetic" throughout in order to obtain the inductive actions in magnetic circuit.[6]

Notice that Hertz sought a scheme in which the elements are interchangeable, though they still keep their separate identities as magnetism and electricity.

Against this background, Hertz remarks that the two forces, namely, electric and magnetic, have usually been deduced in an asymmetrical manner. Given the two principles announced at the outset of the paper, it is not surprising that he was dissatisfied with the common approach. He therefore proceeds – by purely formal, mathematical means – to eliminate the asymmetry between the forces and to render them interchangeable.

In order to obtain a symmetrical structure for the equations, Hertz eliminated the vector-potentials. He did so by differentiating the equations with respect to *time* by which he obtained the set of equations that do not contain components of the vector-potentials. An examination of the resulting set of equations reveals that the structure is symmetrical in the sense that the components correspond to each other in the same manner and are readily interchangeable – *vertauschbar*.[7]

Hertz is explicit about his move: his intention is to eliminate the asymmetry between the forces and to render them interchangeable. He expected the forces and their governing laws to be interchangeable; indeed, he tried to capture this idea in his new formalism, but nowhere – to the best of our knowledge – does he suggest that the two distinct elements should be united. Symmetry for Hertz appears to embody the notion of interchangeability, and Maxwell's equations ought to be recast to exhibit this feature. Thus, in Hertz's case, the elimination of asymmetry establishes symmetry in the mathematical form of the equations.

The experiments on electric waves, which made Hertz world-renowned, appear to have changed his views. Presumably, Hertz needed an ether to account for the transmission of

[4] Hertz 1896, 273 (italics in the original); *idem* [1884]/1895, 295 (italics in the original): "Das wesentliche Glied in dieser Schlussfolge ist die Annahme, dass es nur *eine* Art magnetishcer Kraft gebe . . . ."

[5] Hertz 1896, 292; *idem* [1885]/1895, 316: "... das magnetische und das elektrostatische System genau ihren Platz vertauschen."

[6] Hertz 1896, 277; *idem* [1884]/1895, 300: "Wir brauchen nur in den Gesetzen der elektrischen Induktion konsequent die Namen 'elektrisch' und 'magnetisch' zu vertauschen, um zu den hier gesuchten Induktionswirkungen magnetischer Stromkreise zu gelangen."

[7] Hertz 1896, 286–287.

Ueber die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper.

Von

H. Hertz.

Das System von Begriffen und Formeln, durch welches Maxwell die elektromagnetischen Erscheinungen darstellte, ist in seiner möglichen Entwicklung reicher und umfassender als ein anderes der zu gleichem Zwecke ersonnenen Systeme. Es ist gewiß wünschenswerth, daß ein der Sache nach so vollkommenes System auch der Form nach möglichst ausgebildet werde. Der Aufbau des Systems sollte durchsichtig seine logischen Grundlagen erkennen lassen; alle unwesentlichen Begriffe sollten aus demselben entfernt und die Beziehungen der wesentlichen Begriffe auf ihre einfachste Gestalt zurückgeführt sein. Die eigene Darstellung Maxwells bezeichnet in dieser Hinsicht nicht das erreichbare Ziel, sie schwankt häufig hin und her zwischen den Anschauungen, welche Maxwell vorfand, und denen, zu welchen er gelangte. Maxwell geht aus von der Annahme unvermittelter Fernkräfte, er untersucht die Gesetze, nach welchen sich unter dem Einfluß solcher Fernkräfte die hypothetischen Polarisationen des dielektrischen Aethers verändern und er endet mit der Behauptung, daß diese Polarisationen sich wirklich so verändern, ohne daß in Wahrheit Fernkräfte die Ursachen derselben seien [1]). Dieser Gang hinterläßt das unbefriedigende Gefühl, als müsse entweder das schließliche Ergebniß, oder der Weg unrichtig sein, auf welchem es gewonnen wurde. Auch läßt dieser Gang in den Formeln eine Anzahl überflüssiger, gewissermaßen rudimentärer Begriffe

1) Die gleiche Bemerkung trifft die durch v. Helmholtz im 72. Bande des Crelleschen Journals gegebene Ableitung, nicht zwar allgemein, aber doch für diejenigen besonderen Werthe der Constanten, welche in den Endresultaten die Fernkräfte verschwinden lassen, welche also auf die hier vertretene Theorie führen.

Figure 5.2:
Heinrich Hertz: *Ueber die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper* (1890).

Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften und der Georg-August-Universität zu Göttingen aus dem Jahre 1890, p. 106.

the newly discovered electric waves in space. The assumption of the ether plays a central role in Hertz's second phase of theoretical studies which begins right after the completion of his experimental work in 1888, for the ether offered a physical interpretation (or model) to account for the electric waves. As an adherent of Maxwell's theory, Hertz then gives the set of equations a new status.

> Maxwell arrived at [the equations] by starting with the idea of action-at-a-distance and attributing to the ether properties of a highly polarisable dielectric medium. One can also arrive at them in other ways. But in no way can a direct proof of these equations be deduced from experience. It appears most logical, therefore, to regard them independently of the way in which they have been arrived at, to consider them as hypothetical assumptions, and to let their probability depend upon the very large number of natural laws which they embrace.[8]

In contrast to his earlier view, Hertz now considers the equations axiomatically. His point is that it is better to take these equations as postulates rather than claiming that they can be proved or derived from principles and observations. The Einsteinian spirit of this methodological "inversion" is startling. But, of course, historically it is the other way around: Hertz's change of heart, namely, abandoning the attempts at deriving the equations and turning them instead into the axioms on which the theory is based, is similar to the move that Einstein makes in the introductory section of the relativity paper where he raises two conjectures to the status of postulates.

We have reached an intermediary conclusion: Hertz recognized an asymmetry in Maxwell's set of equations and sought to present them in a symmetrical form. His motivation was a commitment to the interchangeability of electric and magnetic phenomena. He then manipulated the equations mathematically in order to give them a symmetrical structure. However, in the wake of his experimental work on electric waves, Hertz no longer accepted the validity of his derivation of the equations; instead, he opted for the axiomatic approach, turning the equations into postulates.

At the outset of his relativity paper Einstein called into question Maxwell's theory which includes Maxwell's original set of equations and then, later in the paper, invoked these equations in their Hertzian form, namely, in the symmetrical form that Hertz presented for the first time in his paper of 1884. Einstein is explicit about this: he appeals to the "Maxwell – Hertz equations".[9] In fact, Einstein postulates these equations in the same spirit as Hertz did in 1890, implicitly agreeing with Hertz on the axiomatic status

[8] Hertz [1893]/1962, 138 (slightly modified); *idem* [1889a]/1892, 148: *"Maxwell gelangte zu [diese Aussagen], indem er von Fernkräften ausging und dem Aether die Eigenschaften eines in hohem Grade dielektrisch polarisirbaren Mittels beilegte. Man kann auch auf anderen Wegen zu denselben gelangen. Auf keinem Wege kann indessen bislang ein director Beweis für jene Gleichungen aus der Erfahrung erbracht werden. Es erscheint deshalb am folgerichtigsten, dieselben unabhängig von dem Wege, auf welchem man zu ihnen gelangt ist, als eine hypothetische Annahme zu betrachten und ihre Wahrscheinlichkeit auf der sehr grossen Zahl an Gesetzmässigkeiten beruhen zu lassen, welche sie zusammenfassen."*

[9] Einstein 1905, 907, 908. Einstein presented a modified version of Hertz's symmetrical form of Maxwell's equations (Hertz 1890, 111), as had been done by some of his predecessors. For example,

of the equations. However, he did not comment on their symmetrical form – thereby implying that this feature was not essential to the argument of the theory. Einstein's decision with respect to postulating the two principles of his theory (thus giving it an axiomatic basis) is reminiscent of Hertz's decision to postulate the equations. But these lines of influence do not affect Einstein's view of asymmetry, for it has to be removed by physical arguments and not by mathematical manipulations. Nevertheless, Hertz's pioneering attempt to grapple with the asymmetrical nature of Maxwell's theory formed the background against which Einstein clarified his thoroughly physical approach to the problem. Hertz was a most effective interlocutor for Einstein: in Hertz's work Einstein found the quintessence of 19th-century physics and it served as his point of departure for inaugurating the physics of a new era.

Einstein begins his relativity paper of 1905 by calling attention to the fact that Maxwell's electrodynamics – "as usually understood at the present time" – leads, when applied to moving bodies, to asymmetries which do not correspond to anything in the phenomena. We may be tempted to think that Einstein directs his criticism, right at the outset of the paper, at the formalism of Maxwell's theory, for this formalism is responsible for these asymmetries. Thus it would seem that one needs to address the form of the equations, either to modify it or replace it, with the goal of making it correspond faithfully to the phenomena. But we take Einstein's expression "as usually understood at the present time" to mean that the fault lies in the way the theory had been understood, not in the equations. After all, later in the paper Einstein introduces the Maxwell – Hertz equations lock, stock, and barrel, and does not question their validity in any respect. The formalism is taken to be correct without comment. The expression "Maxwell's theory", or "Maxwell's electrodynamics", refers then not merely to the equations but to the equations together with a host of assumptions, derivations, and interpretations. Indeed, the evidence in support of Maxwell's equations at the turn of the 20th century was overwhelming; they satisfactorily described a large number of phenomena. Einstein, to put it bluntly, "buys" the formalism, that is, the equations, but he rejects the interpretation(s) outright. The fact that at the very beginning of the paper Einstein calls attention to an *asymmetry* that results from a theory is an important clue that attention should be directed to the physical interpretation of the formalism.

What was the motivation for Einstein to drive a wedge between the theory and its formalism, to see so clearly that the system of equations could be retained despite a radical change in the interpretation of Maxwell's theory? Einstein read Hertz closely and he appears to be an adherent of Hertz's methodology.

Although Hertz was motivated by physical reasoning, he sought analogous treatment of the equations for electricity and magnetism. He observes that Maxwell's equations are deduced in an asymmetrical fashion and so he manipulates the equations formally in order to make them display the symmetry he sought.

Drude (1894, 315) presented the equations in their symmetrical form (with the partial derivative symbol) and referred, *inter alia*, to Hertz ([1890]/1892). Further, Drude (1894, 316 n. 4) noted that the algebraic sign depends on the choice of direction of the coordinate system. Wiechert (1898, 90) also invoked Hertz's symmetrical presentation of the equations in much the way that Drude had done.

Hertz first derives the equations; he does not regard them as having an axiomatic status. Once the formalism was in place, the equations allowed Hertz to deduce consequences that are experimentally testable. The formalism, as Hertz noted, takes on a life of its own. In 1889, in an essay on light and electricity, Hertz revealed the extent to which Maxwell's set of equations had impressed him:

> It is impossible to study this wonderful theory without feeling as if the mathematical equations had an independent life and an intelligence of their own, as if they were wiser than ourselves, indeed wiser than their discoverer, as if they gave forth more than he had put into them ....[10]

In 1892 Hertz reported in the theoretical part of the Introduction to his *Electric Waves* that

> I ... endeavoured to form for myself in a consistent manner the necessary physical conceptions, starting from Maxwell's equations, but otherwise simplifying Maxwell's theory as far as possible by eliminating or simply leaving out of considerations those portions which could be dispensed with, inasmuch as they could not affect any possible phenomena .... The common significance of the different modes of representation ... appears to me to be the undying part of Maxwell's work. This, and not Maxwell's peculiar conceptions or methods, would I designate as "Maxwell's Theory." To the question, "What is Maxwell's theory?" I know of no shorter or more definite answer than the following: – Maxwell's theory is Maxwell's system of equations.[11]

Having stated his belief in the formalism of the equations as the core of the theory, Hertz proceeds to spell out the different interpretations given to the formalism, claiming that the difficulty is not necessarily of a mathematical nature. And he cautions the reader that

[10] Hertz 1896, 318; *idem* [1889b]/1895, 344: "Man kann diese wunderbare Theorie nicht studieren, ohne bisweilen die Empfindung zu haben, als wohne den mathematischen Formeln selbständiges Leben und eigener Verstand inne, als seien dieselben klüger als wir, klüger sogar als ihr Erfinder, als gäben sie uns mehr heraus, als seinerzeit in sie hineingelegt wurde."

[11] Hertz [1893]/1962, 20–21; Hertz 1892, 22–23: *"Ich versuchte deshalb mir die unentbehrlichen physikalischen Vorstellungen widerspruchsfrei selbst zu construiren, indem ich von den Maxwell'schen Gleichungen ausging, im Uebrigen aber die Maxwell'sche Theorie so viel wie möglich vereinfachte durch Elimination oder einfache Fortlassung aller derjenigen Elemente, welche ich nicht verstand und welche entbehrlich waren, da sie auf keine möglichen Erscheinungen einen Einfluss üben konnten .... Die Darstellung der Theorie in Maxwells eigenem Werk, die Darstellung als Grenzfall der Helmholtz'schen Theorie und die Darstellung in den vorliegenden Abhandlungen sind also wesentlich verschiedene Formen für einen wesentlich gleichen gemeinsamen Inhalt. Dieser gemeinsame Inhalt der verschiedenen Formen, für welche gewiss noch viele andere Formen gefunden werden können, erscheint mir als der unsterbliche Theil der Maxwell'schen Arbeit, diesem Inhalt und nicht den besonderen Vorstellungen oder Methoden Maxwells möchte ich den Namen 'Maxwell'sche Theorie' vorbehalten wissen. Auf die Frage, 'was ist die Maxwell'sche Theorie' wüsste ich also keine kürzere und bestimmtere Antwort als diese: Die Maxwell'sche Theorie ist das System der Maxwell'schen Gleichungen."*

> scientific accuracy requires of us that we should in no wise confuse the simple and homely figure, as it is presented to us by nature, with the gay garment which we use to clothe it. Of our own free will we can make no change whatever in the form of the one, but the cut and colour of the other we can choose as we please.[12]

Hertz wished to strip from the theory everything (which he calls "garments") but the equations, and then recast them in a symmetrical form.

Einstein refers to asymmetry at the beginning of the relativity paper: "Maxwell's electrodynamics ... when applied to moving bodies, leads to asymmetries that do not seem to adhere to the phenomena."[13] He argued that, on the one hand, from Maxwell's theory one would expect asymmetries in the descriptions of the phenomena but, on the other, no such asymmetries are to be found in the phenomena. For Hertz, the issue of symmetry does not concern the phenomena directly; rather, it concerns the structure and the derivation of Maxwell's equations. Not so for Einstein.

There is a clear difference here between Hertz and Einstein. Hertz identifies and addresses a different problem from the one Einstein states at the outset of his relativity paper. In Hertz's case the problem lies in the way Maxwell's equations are set up and derived: the distinct phenomena of electricity and magnetism are analogous and the formalism ought to exhibit a correspondence between them; hence the equations should be symmetrical in the sense that analogous elements have to correspond and be interchangeable. Einstein, by contrast, argues that the fault is not in the equations – be they symmetrical or asymmetrical – but in their interpretation, that is, in embedding them in an ether. Curiously, Einstein seems to arrive at this position on the basis of Hertz's own methodology:

1. The equations are valid regardless of the way they were originally determined;
2. The validity of the equations depends on their successful accounting for a wide range of phenomena; and
3. The equations are valid independent of any specific interpretation of them.

The third item is of particular interest for us here: Einstein indicated that an interpretation which distinguishes electric and magnetic forces of moving bodies is false, for there is only one kind of force involved, and it is simply electromagnetic. But, despite the radical change in interpretation, the equations are still valid.

Einstein took Hertz's methodology to heart, but with a twist: in some respects he is more Hertzian than Hertz. The theory with its interpretative baggage could, and

[12] Hertz [1893]/1962, 28; Hertz 1892, 31: "Aber die Strenge der Wissenschaft erfordert doch, dass wir dies bunte Gewand, welches wir der Theorie überwerfen, und dessen Schnitt und Farbe vollständig in unserer Gewalt liegt, whol unterscheiden von der einfachen und schlichten Gestalt selbst, welche die Natur uns entgegenführt und an deren Formen wir aus unserer Willkür nichts zu ändern vermögen." See also *idem* [1893]/1962, 195, and *idem* 1892, 208.

[13] Beck 1989, 140 (slightly modified); Einstein 1905, 891: *"Daß die Elektrodynamik Maxwells – wie dieselbe gegenwärtig aufgefaßt zu werden pflegt – in ihrer Anwendung auf bewegte Körper zu Asymmetrien führt, welche den Phänomenen nicht anzuhaften scheinen, ist bekannt."*

should, be separated from its purely formal-mathematical representation. Hence, according to Einstein, seeking symmetrical equations – in the sense that the relations between the symbols that comprise the equations support some structure that exhibits correspondence among the symbols – may not affect the actual physical issue at stake, thus adding an unnecessary "garment" that has led physicists astray. The problem that Einstein presents at the outset of his relativity paper is that the theory leads to two descriptions related to the same phenomenon, and that these descriptions are different. To be truly Hertzian, one has to come up with a physical argument to account for this disparity of one phenomenon with two contrasting descriptions. And we claim that in all likelihood this is the way Einstein read Hertz.

In sum, Hertz's work is part of the background to Einstein's thinking on issues in electrodynamics. Hertz explicitly used the term *asymmetry* in his essay of 1884. However, for Hertz this asymmetry is purely formal and he then derived Maxwell's equations in a symmetrical form. After his successful experimental demonstration of the existence of electric waves, Hertz opted for the ether as presented in Maxwell's theory but retained the equations in their symmetrical form.

Hertz showed the way to a critical examination of Maxwell's theory. In particular, he insisted that the equations should only concern physically meaningful magnitudes, not artifacts of the theory. One could say that Einstein followed Hertz in his recognition that something was wrong in the theory, but Einstein had a different "diagnosis" and eventually came up with a different "cure".

The formalism, the core of Maxwell's theory stripped of all its "garments", does not include the ether. For Einstein the issue is not the symmetry or the asymmetry of the equations – which was a central theme for Hertz, Heaviside, and some other notable physicists[14] – but the removal of asymmetries that are "artifacts" of the theory and have no objective reality.

We suggest that Einstein was, as it were, in conversation with Hertz. On this view, Einstein opens the relativity paper with a critique of Hertz's approach to electrodynamics. Using Hertz's own methodology, Einstein implicitly responded to Hertz that his attempt at recasting Maxwell's equations into a symmetrical form was ill-conceived: asymmetry is deeply embedded in Maxwell's theory and a formal modification of the equations does not suffice to render the theory symmetrical; in any event, this deep-seated asymmetry is an artifact that has no counterpart in the phenomena. A radical solution is called for: recasting the fundamental postulates of the theory.

We submit that in Einstein's view Hertz did not address the right problem. The issue for Einstein concerned the theory, not just the equations; thus, formal solutions were not in fact solutions, for they were merely manipulations of formulas. This interpretation is supported by Einstein's explicit reference in the opening sentence of the paper to Maxwell's theory and not to its equations (to which he refers later in the electrodynamic part of the paper). The problem is that the theory distinguishes between electricity and magnetism whereas, in fact, these phenomena are different manifestations of the same thing – the electromagnetic field. This is where Einstein focuses his

[14] See Hon and Goldstein 2005.

attention: the distinction between electricity and magnetism has to be dropped in favor of "electromagnetic phenomena". In other words, the contrast is between Hertz's interchangeability and Einstein's indistinguishability; while the former calls for a symmetrical structure, the latter seeks unity. The asymmetries of which Hertz and Einstein speak are therefore conceptually different and ought not to be conflated.

This is connected with the ether hypothesis and, if one rejects the ether, as Einstein already did in 1899, it seems that one has rejected Maxwell's theory at the same time. But the equations are well confirmed – so how to resolve this dilemma? Einstein takes Maxwell's equations in Hertz's form since they do not depend on the ether hypothesis (despite Hertz's later views on this issue). The question is then, has Hertz eliminated the asymmetry as he claimed to have done? And Einstein replies, No – asymmetry still remains in the theory even though it has been removed from the equations. For this argument to work, Einstein has to adhere to Hertz's terminology, at least to some extent.

But what term should be used to express the problem that remains in Maxwell's theory? Einstein chose *asymmetry*, the very term which Hertz used to refer to problems in Maxwell's theory in the derivation of the equations which, according to Einstein, Hertz did not succeed in removing. The particular difficulty is that, within the framework of Maxwell's theory, one can generate an electric field, and not generate it, by means of the same experiment (seen in two different ways). That is, the term *asymmetry* in Einstein's account is an artifact of his response to Hertz. Einstein's vocabulary is often idiosyncratic and here it reflects his engagement with the ideas expressed in Hertz's publications that led to his critique of Maxwell's theory. For Hertz the removal of asymmetry results in symmetry, but for Einstein the contrary of asymmetry – symmetry – is not an issue: symmetry has become irrelevant. Unity was the key to revolutionizing 19th century physics.

5.1 References

Archibald, Thomas (1989): "Physics as a Constraint on Mathematical Research: The Case of Potential Theory and Electrodynamics." In: Rowe and McCleary (eds.) 1989, p. 29–75.

Baird, Davis; Hughes, Richard I. G. and Alfred Nordmann (eds.) (1998): *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher.* Dordrecht: Kluwer.

Beck, Anna (1989): [English Translation of] *The Collected Papers of Albert Einstein.* Vol. 2: *The Swiss Years: Writings, 1900–1909.* Peter Havas consultant. Princeton: Princeton University Press.

Buchwald, Jed Z. (1994): *The Creation of Scientific Effects: Heinrich Hertz and Electric Waves.* Chicago: University of Chicago Press.

Drude, Paul (1894): *Physik des Aethers auf elektromagnetischer Grundlage.* Stuttgart: Enke.

Einstein, Albert (1905): "Zur Elektrodynamik bewegter Körper." In: *Annalen der Physik* **17**, p. 891–921. Translated in Beck 1989, p. 140–171, and Lorentz et al. (eds.) ([1923]/1952), p. 37–65.

Hertz, Heinrich ([1884]/1895): "Ueber die Beziehungen zwischen den Maxwell'schen electrodynamischen Grundgleichungen und den Grundgleichungen der gegnerischen Electrodynamik." In: *Annalen der Physik und Chemie* **23**, p. 84–103. Reprinted in Hertz 1895, p. 295–314. Translated in Hertz 1896, p. 273–290, "On the Relations between Maxwell's Fundamental Electromagnetic Equations and the Fundamental Equations of the Opposing Electromagnetics."

Hertz, Heinrich ([1885]/1895): "Über die Dimensionen des magnetichen Poles in verschiedenen Maßsystemen." In: *Annalen der Physik und Chemie* **24**, p. 114–118. Reprinted in Hertz 1895, p. 315–319. Translated in Hertz 1896, p. 291–295, "On the Dimensions of Magnetic Pole in Different Systems of Units."

Hertz, Heinrich ([1889a]/1892): "Die Kräfte electrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie." In: *Annalen der Physik und Chemie* **36**, p. 1–22. Reprinted in Hertz 1892, p. 147–170. Translated in Hertz 1896, p. 137–159, "The Forces of Electric Oscillations, Treated According to Maxwell's Theory."

Hertz, Heinrich ([1889b]/1895): *Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektricität: ein Vortrag gehalten bei der 62. Versammlung deutscher Naturforscher und Aertze in Heidelberg.* Bonn: Strauss. Reprinted in Hertz 1895, p. 339–354. Translated in Hertz 1896, p. 313–327, "On the Relations between Light and Electricity."

Hertz, Heinrich (1890): "Ueber die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper." In: *Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften und der Georg-Augusts-Universität zu Göttingen, aus dem Jahre 1890*, p. 106–148. Reprinted in Hertz 1892, p. 208–255. Translated in Hertz [1893]/1962, p. 195–240, "On the Fundamental Equations of Electromagnetics for Bodies at Rest."

Hertz, Heinrich (1892): *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft.* Leipzig: Barth. Translated in Hertz [1893]/1962.

Hertz, Heinrich ([1893]/1962): *Electric Waves.* Translated by D. E. Jones. New York: Dover.

Hertz, Heinrich (1895): *Gesammelte Werke.* Vol. 1: *Schriften vermischten Inhalts.* Hrsg. von Philipp Lenard. Leipzig: Barth.

Hertz, Heinrich (1896): *Miscellaneous Papers.* Translated by D. E. Jones and G. A. Schott. London and New York: Macmillan.

Giora Hon and Bernard R. Goldstein (2005): "How Einstein Made Asymmetry Disappear: Symmetry and Relativity in 1905." In: *Archive for History of Exact Sciences* **59**, p. 437–544.

Lorentz, Hendrik Antoon; Einstein, Albert; Minkowski, Hermann and Hermann Weyl (eds) ([1923]/1952): *The Principle of Relativity* (a collection of original memoirs on the special and general theory of relativity), with notes by Arnold Sommerfeld, translated by W. Perrett and G. B. Jeffery. New York: Dover.

Rowe, David E. and John McCleary (eds) (1989): *The History of Modern Mathematics.* Vol. 2: *Institutions and Application.* Boston, New York: Academic Press.

Wiechert, Emil (1898): "Hypothesen für eine Theorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen." In: *Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, aus dem Jahre 1898*, p. 87–106.

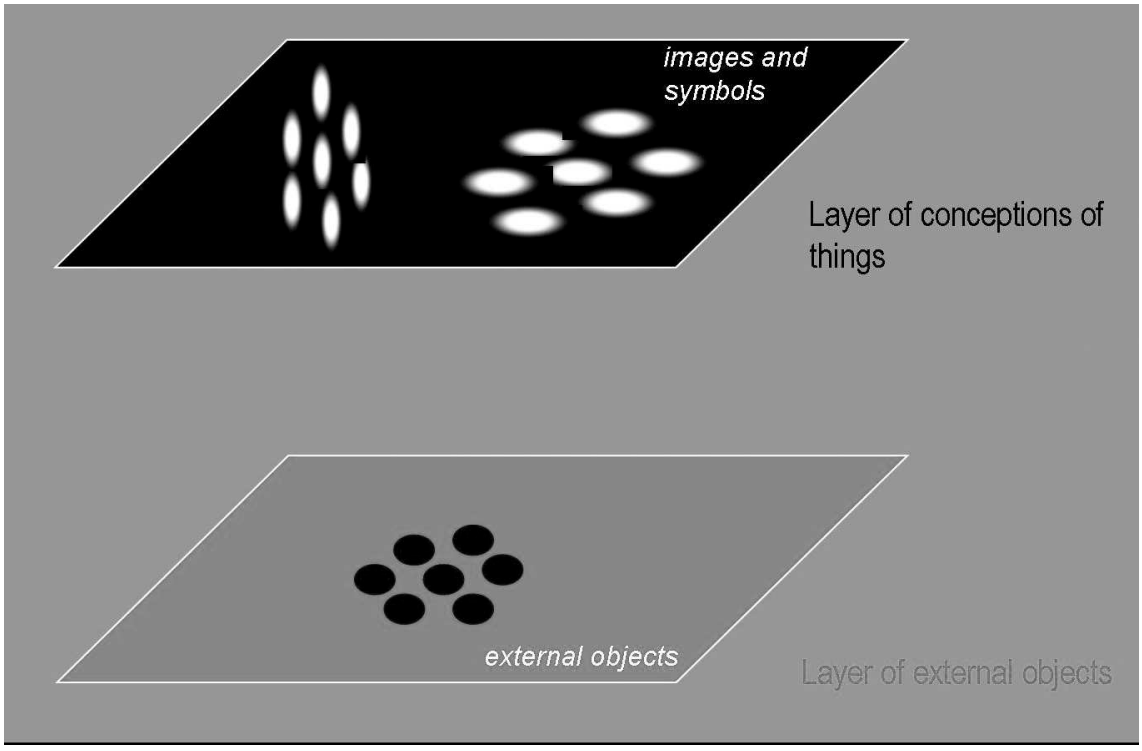


Figure 6.1:
Hertz' epistemological system in a two-layer structure,
that of external objects and that of images or symbols of external objects.

“Pictures”, “Bumps”, and Structures: Heinrich Hertz, Ludwig Wittgenstein and Concepts of Fuzziness in Epistemology

Rudolf Seising (Vienna)

Abstract: „Bilder“, „Beulen“ und Strukturen: Heinrich Hertz, Kommunikationstechnologie und Philosophie

„Das Bild ist ein Modell der Wirklichkeit“, „Das Bild ist eine Tatsache“, und „Wir machen uns Bilder von den Tatsachen“ behauptete Ludwig Wittgenstein im *Tractatus logico-philosophicus* und bestätigte damit den von ihm selbst schon behaupteten Einfluss, den Heinrich Hertz durch seine *Prinzipien der Mechanik* auf Wittgensteins Denken ausgeübt hatte. Das philosophisch traditionsreiche „Bild“-Konzept dient in diesem Beitrag als Ausgangspunkt für eine Interpretation des Zusammenhanges zwischen realen Systemen und theoretischen Strukturen moderner Wissenschaften. Dazu wird die innerhalb der Wissenschaftstheorie des 20. Jahrhunderts „strukturalistisch“ genannte Theorienauffassung durch die Konzepte der „fuzzy sets“ bereichert.

Die zwischen realen Systemen und exakt-mathematischen Theorien bestehende Kluft und die Suche nach Möglichkeiten, sie zu überbrücken, motivierten in den 1960er Jahren den Elektrotechniker Lotfi A. Zadeh eine „mathematics of cloudy or fuzzy quantities“ zu erwägen, und sie schließlich als Theorie der *Fuzzy Sets and Systems* zu etablieren. Mittels dieser Theorie wurde in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine Fülle von wissenschaftlichen Begriffen, Methoden und Theorien „fuzzifiziert“ – eine Transformation, die wissenschaftstheoretisch nachvollzogen und reflektiert werden kann, indem das Gerüst der *strukturalistischen Theorienauffassung* entsprechend ergänzt wird: Fuzzy Sets können dann als neues Modellierungswerkzeug in der Wissenschaftstheorie fungieren.

Mit Fuzzy Sets können unscharf begrenzte Mengen und Strukturen erfasst werden. Sie können dazu dienen, die scharfen Begrenzungen unserer Begriffe zu aufzulösen, die Gottlob Frege unter Bezug auf die klassische Sorites-Paradoxie noch stets verlangt hatte, da sonst nicht nur Gesetze der klassischen Logik verletzt würden, sondern auch Falsches herleitbar wäre. Zadehs „Fuzzy Logik“, sein „Computing with Words“ und seine „Computational Theory of Perceptions“ sind eine Methodologie-Hierarchie, die zwischen die Ebene der realen Systeme und die der theoretischen Strukturen passt, um die menschlichen Wahrnehmungen (perceptions) zu repräsentieren,

die mit den scharfen Begriffen der klassischen Logik nicht dargestellt werden können. Wittgenstein sprach in diesem Zusammenhang von „Beulen“, „die sich der Verstand beim Anrennen an die Sprache geholt hat“.

6.1 Introduction

“A picture is a model of reality.” “We picture facts to ourselves.” “A picture is a fact.” These assertions made by Ludwig Wittgenstein in his *Tractatus logico-philosophicus* demonstrate the influence of Heinrich Hertz’s *Principles of Mechanics* on his thinking – a debt that Wittgenstein himself acknowledged.

In this contribution, the concept of a “picture,” which has a long tradition in philosophy, serves as the starting point for an interpretation of the relationship between real systems and theoretical structures of modern science. Also, the approach dubbed as the “structuralist” view of scientific theories in the 20^{th} century will be extended and enhanced by the concepts of “fuzzy sets” and “fuzzy relations.”

In the 1960s, the gap between real systems and exact mathematical theories, as well as the search for possible ways of bridging this gap, led the electrical engineer and Berkeley professor Lotfi A. Zadeh to consider “mathematics of cloudy or fuzzy quantities” and ultimately to establish the theory of *fuzzy sets and systems*. Starting with a mathematical theory of electrical filters, on the one hand, and with the impossibility of realizing ideal filters whose “passbands” have exactly defined threshold frequencies, on the other, and bearing in mind the characteristics of actual electrical filters with their unsharp boundaries, Zadeh developed a mathematical theory of “membership functions” for sets (or classes) with unsharp boundaries.[1]

In the second half of the 20^{th} century, a great many scientific concepts, methods, and theories were “fuzzified.” Fuzzification is a transformation that can be reconstructed and reflected upon in a scientific manner by appropriately expanding the framework of the structuralist *view of scientific theories*. The resulting fuzzy sets can then serve as a new modeling tool in scientific theory.

With fuzzy sets, it is possible to handle classes and structures with unsharp boundaries. They enable us to break down the sharp boundaries of our concepts, which Gottlob Frege always demanded, with reference to the classic sorites paradox – since if this is not done, not only would the laws of classical logic be violated, but also false conclusions would be possible. Zadeh’s theories of fuzzy sets and systems (FSS), computing with words (CW), and his computational theory of perceptions (CTP) constitute a hierarchy of methodologies that fits in between the level of real systems and that of theoretical structures, making it possible to represent human perceptions that cannot be represented with the sharp boundaries of classical logic. In this connection, Wittgenstein spoke of

[1] For a history of the theory of Fuzzy Sets see the author’s book [1]. For aspects of vagueness and fuzziness in the history of logic in particular, see [2].

"bumps that the understanding has got by running its head up against the limits of language."

In this paper we consider some epistemological positions in modern science from the 1890s to the present day. Heinrich Hertz (1857–1894) established one of these in the introduction to his well-known *Principles of Mechanics Presented in a New Form* [3]. Ten years earlier, when Hertz was a professor at the University in Kiel in Germany, he wrote the manuscript for his lecture on *The Constitution of Matter*, but he did not publish it as a book. This manuscript was found in the 1990s by Albrecht Fölsing, Hertz's biographer, who edited *Die Constitution der Materie* in 1999 [4].

Two other epistemological systems can be distinguished in the work of the Austrian-British philosopher Ludwig Wittgenstein (1889–1951), who wrote the famous *Tractatus logico-philosophicus* [5], which was published during his early years in 1921, and the *Philosophical Investigations* [6] in his later years. In these two books, we find totally different epistemologies and – as in the case of the two books of Heinrich Hertz – a concept of fuzziness can be found in one of them. In the case of Hertz, fuzziness is discussed in his early book, in the case of Wittgenstein, this occurs in his later book.

In the first sections of this contribution, we will consider these epistemological systems of Heinrich Hertz and Ludwig Wittgenstein. We will provide a brief sketch of Zadeh's theory of fuzzy sets and systems (FSS), computing with words (CW), and his computational theory of perceptions (CTP). We will then use the structuralist program in the philosophy of science to distinguish a layer of reality from a layer of theory, and we will construct a layer of fuzziness between these two layers – in the terminology of Hertz the layers of external objects (things) and of their images and symbols (conceptions of things). Finally, we will model the fuzziness in the new layer using Zadeh's hierarchy of methodologies, FSS, CW, and CTP.

6.2 Heinrich Hertz's epistemological system in the *Principles of Mechanics*

Hertz's book *The Principles of Mechanics Presented in a New Form* was edited posthumously in 1894 by Philipp Lenard (1862–1947), who was Hertz's assistant in Bonn from 1891 to 1894 and later became a professor in Breslau, Aachen, Heidelberg, and Kiel. In this book, Hertz created a new system of forceless mechanics based on space, time, and mass, but most notably, the book's introduction became a significant document for the philosophy of science. In it, Hertz established his theory of knowledge: he viewed physical theories as "pictures" of reality. He began his introduction with the following words:

> *"The most direct, and in a sense the most important, problem which our conscious knowledge of nature should enable us to solve is the anticipation of future events, so that we may arrange our present affairs in accordance with such anticipation. As a basis for the solution of this problem we always make use of our knowledge of events which have already occurred, obtained*

> *by chance observation or by prearranged experiment. In endeavoring thus to draw inferences as to the future from the past, we always adopt the following process. We form for ourselves images or symbols of external objects; and the form which we give them is such that the necessary consequents of the images in thought are always the images of the necessary consequents in nature of the things pictured."* ([3], p. 1.)

The images which we here speak of are our conceptions of things. With the things themselves they are in conformity in *one* important respect, namely, in satisfying the above-mentioned requirement. For our purpose it is not necessary that they should be in conformity with the things in any other respect whatever.

As a matter of fact, we do not know, nor have we any means of knowing, whether our conceptions of things are in conformity with them in any other than this *one* fundamental respect. ([3], p. 1) ....

Fig. 6.1 shows an illustration of this epistemological system in a two-layer structure, that of external objects and that of images or symbols of external objects.

We know the conformity between nature and our mind that is necessary for that from experience: *(logically) inadmissible* images are "all images which implicitly contradict the laws of our thought." Although images are *logically admissible,* they can be *incorrect* "if their essential relations contradict the relations of external things." For one external object there can exist more than one *correct* image, differing in respect to appropriateness:

> *"Of two images of the same object that is the more appropriate which pictures more of the essential relations of the object, – the one which we may call the more distinct. Of two images of equal distinctness the more appropriate is the one which contains, in addition to the essential characteristics, the smaller number of superfluous or empty relations, – the simpler of the two."* ([3], p. 2)

Hertz's epistemology and his view on scientific theories as mind-created "images", based on the scientist's experience, was contrary to the dominant view at his time. Most scientists during the years around the turn of the century regarded empirical theories as objective, and in particular, most of them believed in the existence of one unique theory. On the other hand, Hertz knew from experience he had gathered in the genesis of electrodynamics that various theories with different systems of concepts are possible, and that one theory may become accepted eventually. In his "language of images", he wrote:

> *"What enters into the images for the sake of correctness is contained in the results of experience, from which the images are built up. What enters into the images, in order that they may be permissible, is given by the nature of our mind. To the question whether an image is permissible or not, we can without ambiguity answer yes or no; and our decision will hold good for all time. And equally without ambiguity we can decide whether an image is correct or not;*

> *but only according to the state of our present experience, and permitting an appeal to later and riper experience. But we cannot decide without ambiguity whether an image is appropriate or not; as to this differences of opinion may arise. One image may be more suitable for one purpose, another for another; only by gradually testing many images can we finally succeed in obtaining the most appropriate."* ([3], p. 3)

Hertz spoke about "images" or "symbols" of external objects, because they are replacements for concepts in physical theories (e. g., mechanics, electricity and magnetism, and electrodynamics) that are not accessible to our sensory perceptions. In Fig. 6.2 we can again see the two layers of external objects and of images or symbols of external objects, and an illustration of two sets of images for one set of objects.

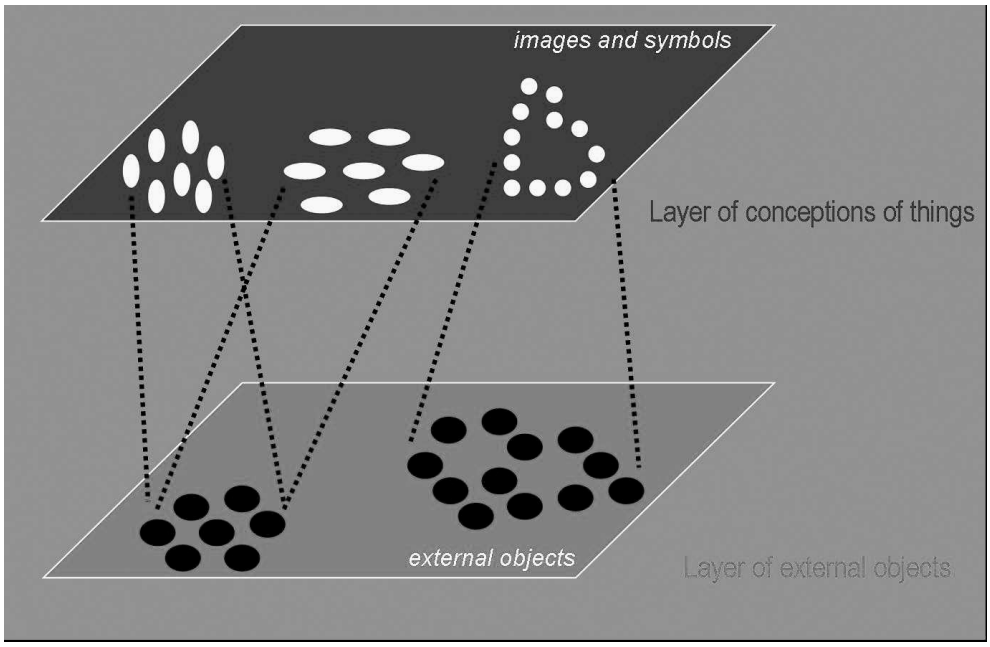


Figure 6.2:
Hertz' epistemological system in a two-layer structure
with two sets of images for one set of objects.

6.3 Wittgenstein I

"We make ourselves pictures of facts." "The picture is a fact." "The picture is a model of reality." These are three consecutive propositions in Ludwig Wittgenstein's *Tractatus logico-philosophicus* ([5], prop. 2.1, 2.12, 2.141). He concluded his work on this book in 1918 and it was first published – supported by and provided with an introduction by Bertrand Russell (1872–1970) – in German in 1921, and one year later in a bilingual

edition (German and English). These propositions demonstrate that Wittgenstein's philosophical thinking was influenced by Heinrich Hertz's *Principles of Mechanics* (as Wittgenstein himself also wrote in his diary ([7], S. 476) and explicitly in another part of the *Tractatus*: "In the proposition there must be exactly as many things distinguishable as there are in the state of affairs which it represents. They must both possess the same logical (mathematical) multiplicity (cf. Hertz's Mechanics, on Dynamic Models)." ([5], prop. 4.04)

Hertz also emphasized that images of facts do not have to be unambiguous; thus there may be different theories in science representing the same fact.

The first two propositions in Wittgenstein's *Tractatus* are:

1. The world is everything that is the case.
2. The world is the totality of facts, not of things. ([5])

In his introduction to the *Tractatus*, Bertrand Russell tried to explain Wittgenstein's thinking:

> *"A picture, he says, is a model of the reality, and to the objects in the reality correspond the elements of the picture: the picture itself is the fact. The fact that things have a certain relation to each other is represented by the fact that in the picture its elements have a certain relation to one another."*
> *"In the picture and the pictured there must be something identical in order that the one can be a picture of the other at all. What the picture must have in common with reality in order to be able to represent it after its manner – rightly or falsely – is its form of representation"* (2.161, 2.17) ([8], p. 10)

Then, in the *Tractatus*, Wittgenstein wrote that the world consists of facts. Facts may contain smaller parts or not. If a fact has no smaller parts, he calls it an "atomic fact." If we know all atomic facts, we can describe the world completely by corresponding "atomic propositions."

Propositions 3 and 4 in the *Tractatus* are:

3. The logical picture of the facts is the thought.
4. The thought is the significant proposition. [5]

"The totality of propositions is language." ([5], prop. 4.001) Wittgenstein argued that sentences in colloquial language are very complex. He conceded that there is a "silent adjustment to understand colloquial language" but it is "enormously complicated." Therefore it is "humanly impossible to gather immediately the logic of language." ([5], prop. 4.002) This is the task of philosophy: "All philosophy is »Critique of language«." ([5], prop. 4.0031)

Wittgenstein knew that common linguistic usage is vague, but in the times of the *Tractatus* he tried to solve this problem by a construction of a precise language – an exact logical language that gives a unique picture of the real world. Wittgenstein thought

that the *Tractatus* solves all philosophical problems. Therefore, he left philosophy and returned to Austria to become a primary school teacher.

In 1926 Wittgenstein felt that he was failing as a teacher. Through his contacts with the Vienna Circle, he became interested in philosophy again; and though to the influence of Frank Plumpton Ramsey (1903–1930), a philosopher of mathematics who traveled several times from Cambridge to Austria and urged Wittgenstein to come back to philosophy, he decided to return to Cambridge in 1929. Later, Russell encouraged Wittgenstein to offer the *Tractatus* as a doctoral thesis.

During World War II, Wittgenstein left Cambridge and volunteered to serve as a hospital porter in London and as a laboratory assistant in Newcastle. When he returned to Cambridge after the war, he found teaching to be a burden. Finally, Wittgenstein resigned his position at Cambridge in 1947 to concentrate on his writing, a decision that led to a second, totally new philosophical system. This philosophy of his later years is completely different from that of the *Tractatus* years. It seems as though both philosophical systems were created by different men. As a consequence, we distinguish the philosophies of "Wittgenstein I" from those of "Wittgenstein II".

6.4 Wittgenstein II

In his later philosophy, Wittgenstein turned away from the epistemological system of the *Tractatus* with its ideal mapping between the objects of reality and a logically precise language. If we are not able to find such an exact logical language, then we have to accept the fact that there is a vague lingual usage for all languages. Then, the images, models, and theories that we build with words and propositions of our languages to communicate on them are and will be vague.

Already in his so-called *Blue Book*, which is a collection of Wittgenstein's lecture manuscripts from 1933/34, we find the following paragraph:

> *"This is a very one-sided way of looking at language. In practice we very rarely use language as such a calculus. For not only do we not think of the rules of usage – of definitions, etc. – while using language, but when we are asked to give such rules, in most cases we aren't able to do so. We are unable clearly to circumscribe the concepts we use; not because we don't know their real definition, but because there is no real 'definition' to them. To suppose that there must be would be like supposing that whenever children play with a ball they play a game according to strict rules."* ([9], p. 49)

"And this is true," he wrote in his second main work, the *Philosophical Investigations*, a book that appeared two years after Wittgenstein's death, translated and edited by his former student and later Cambridge professor of analytic philosophy Gertrude Elisabeth Marie Anscomb (1919–2001). The *Philosophical Investigations* characterize Wittgenstein's late philosophy: "– Instead of producing something common to all that we call language, I am saying that these phenomena have no one thing in common which makes us use the same word for all, – but that they are related to one another in many different

ways. And it is because of this relationship, or these relationships, that we call them all »language«. I will try to explain this." ([6], § 65) We find the following explanation in the next paragraph of this book, in keeping with the concept of a game:

> *"Consider for example the proceedings that we call »games«. I mean board-games, card-games, ball-games, Olympic games, and so on. What is common to them all? – Don't say: »There must be something common, or they would not be called »games« « – but look and see whether there is anything common to all. – For if you look at them you will not see something that is common to all, but similarities, relationships, and a whole series of them at that. To repeat: don't think, but look! – Look for example at board-games, with their multifarious relationships.*
> *Now pass to card-games; here you find many correspondences with the first group, but many common features drop out, and others appear. When we pass next to ball-games, much that is common is retained, but much is lost. – Are they all »amusing «? Compare chess with noughts and crosses. Or is there always winning and losing, or competition between players? Think of patience. In ball games there is winning and losing; but when a child throws his ball at the wall and catches it again, this feature has disappeared. Look at the parts played by skill and luck; and at the difference between skill in chess and skill in tennis. Think now of games like ring-a-ring-a-roses; here is the element of amusement, but how many other characteristic features have disappeared! sometimes similarities of detail. And we can go through the many, many other groups of games in the same way; can see how similarities crop up and disappear. And the result of this examination is: we see a complicated network of similarities overlapping and crisscrossing: sometimes overall similarities."* ([6], § 66)

In the next paragraph Wittgenstein creates a new concept to describe this new epistemological system:

> *"I can think of no better expression to characterize these similarities than »family resemblances«; for the various resemblances between members of a family: build, features, colour of eyes, gait, temperament, etc. etc. overlap and criss-cross in the same way. – And I shall say: »games« form a family."* ([6], § 67)

Fig. 6.3 shows this relationship between objects and concepts and their families. Concepts and their families have no sharp boundaries, as he also wrote in paragraph 119 of the *Philosophical Investigations*:

> *"One might say that the concept »game« is a concept with blurred edges. – »But is a blurred concept a concept at all? « – Is an indistinct photograph a picture of a person at all? Is it even always an advantage to replace an indistinct picture by a sharp one? Isn't the indistinct one often exactly what we need? Frege compares a concept to an area and says that an area with*

vague boundaries cannot be called an area at all. This presumably means that we cannot do anything with it. – But is it senseless to say: »Stand roughly there«?" ([6], § 71)

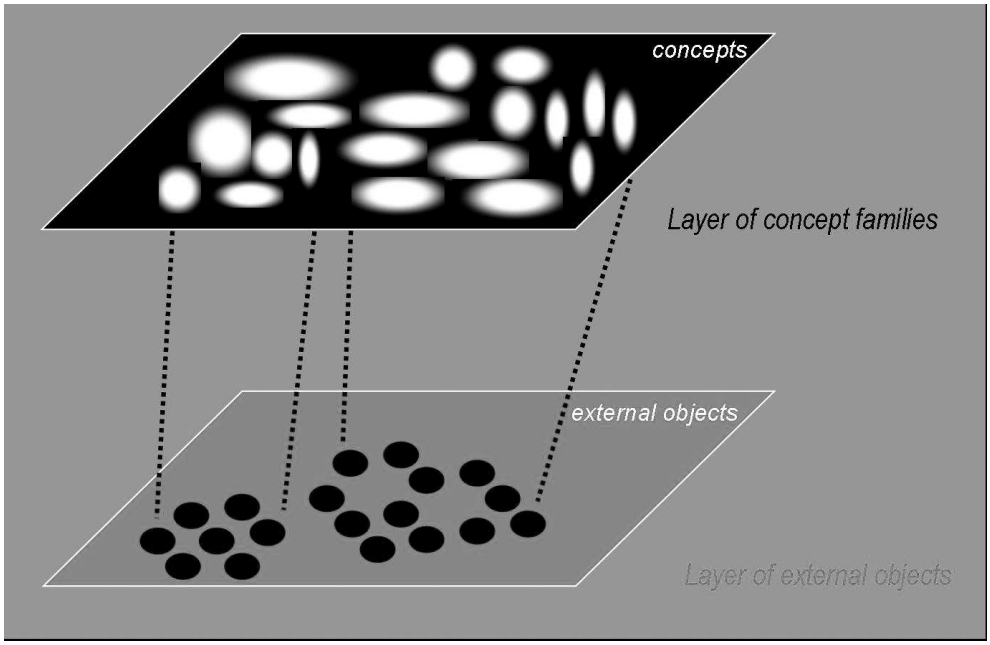


Figure 6.3:
Wittgenstein's epistemological in the *Philosophical Investigations* in a two-layer structure.

And in a later paragraph Wittgenstein wrote: *"The results of philosophy are the uncovering of one or another piece of plain nonsense and bumps that the understanding has got by running its head up against the limits of language."* ([6], § 119)

In other words, our conceptions, images, or symbols of external things or objects are entities without sharp borders. They are fuzzy entities and it is time to establish a fuzzy epistemological system to master these complex circumstances with an appropriate theory of science. This will be done by a short introduction into the theory of fuzzy sets and systems and some remarks on methodological consequences followed by an introductory sketch of the so-called structuralist view of scientific theories and my proposal for a fuzzy extension of this structuralist view of science. But first of all we have to deal with another epistemological system of Heinrich Hertz.

6.5 Heinrich Hertz's epistemological system

in *The Constitution of Matter*

In his Kiel lecture *The Constitution of Matter*, Hertz had already developed a concept of "pictures" to describe reality. His starting point was the hypotheses of the existence of atoms. The question was: Do atoms exist or are they mathematical auxiliary constructions? In this lecture, Hertz sought to describe sensually perceptible matters of fact as simply as possible, arguing that what is beyond these sensually perceptible matters of fact is fiction that makes a simpler description possible. ([4], p. 35)

Then, Hertz argued that physicists are not obligated to restrict their research activities in this manner: It is a general and necessary quality of the human mind that we are not able to bring something to mind or to define external things conceptually without adding properties that they inherently do not have. This is not true not only in everyday life, but also in science. ([4], S. 35.) Hertz devoutly believed that we need imaginary constructs of conceptions in exact science, and gave two examples:

> *1) Geometry:* "If anything deserves to be called an exact science, this does. It deals with the attributes of spatial conceptions. And to define these, it requires us to imagine a series of spatial conceptions. But all these are constituted in such a manner that sensual imagination of them is not possible if we do not give them attributes that geometry knows nothing about and which are explicitly supposed to form the basis of our abstractions. If we are asked to imagine an infinitely thin ball or an infinitesimal component of space, the designated objects will appear in our mind's eye. But neither will they appear infinitely thin nor infinitesimal, nor without colour, nor without other attributes that are absolutely foreign to the intended object." ([4], p. 35 f, translation by R S.)

> *2) Physics:* "Imagine an atom as a ball-shaped space filled with matter, with a diameter of 1 millionth mm [...] Indeed, we are not able to imagine this space in real dimensions; and we cannot visualize it filled, without visualizing it filled with glass, iron, or some other specific substance. However, we can bring to mind which attributes are circumstantial and a core will remain that constitutes the basic attributes in which we are interested. What we add will always be fictitious imaginings; we cannot remove them and replace them with better ones, but must add them or abandon all imagining in this domain." ([4], p. 36, translation by R. S.)

In this earlier lecture, Hertz emphasized the difference between conceptions (images, symbols) and their "cores". This means that in his early epistemological system he postulated imaginary constructs that are conceptions of things and held that an abstraction of each of these images or symbols that is unimaginable exists. Fig. 6.4 shows an illustration of this epistemological system in a three-layer structure with the highest level of abstract cores of our conceptions.

Later on we will model the abstract cores of images or symbols by mathematical objects and figures, where the unsharp ones will become "fuzzy" entities in mathematics.

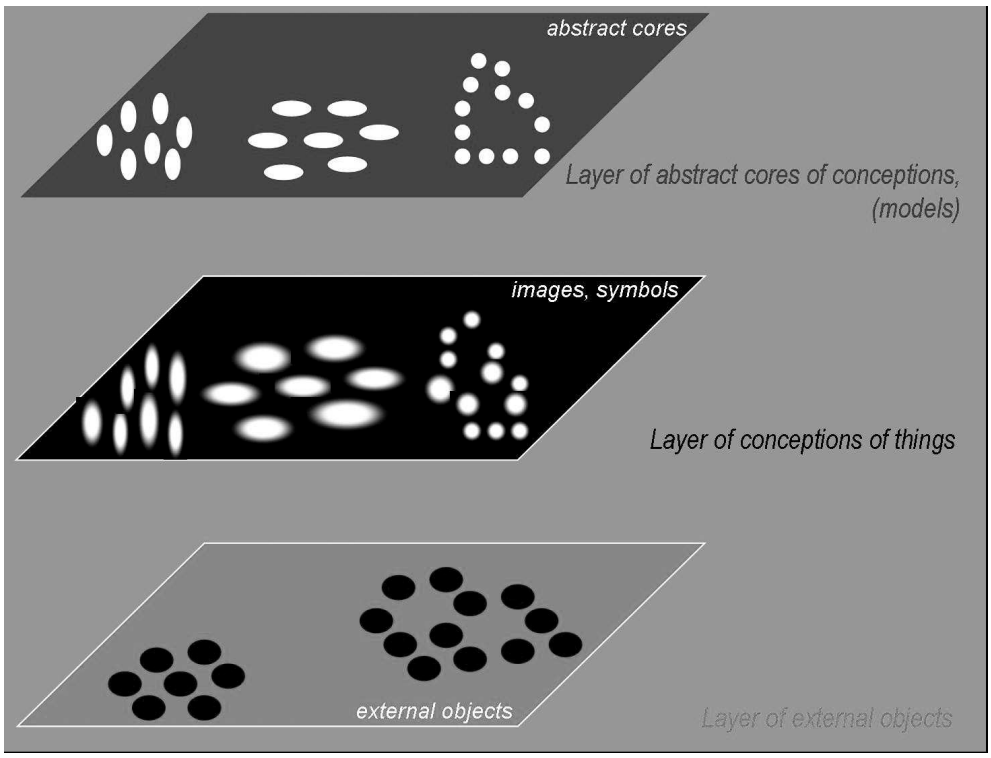


Figure 6.4:
Hertz' epistemological system in *The Constitution of Matter* in a three-layer structure with the highest level of abstract cores of our conceptions

6.6 The Theory of Fuzzy Sets and Systems

"... we need a radically different kind of mathematics, the mathematics of fuzzy or cloudy quantities which are not describable in terms of probability distributions" wrote Lotfi Zadeh, a Berkeley professor of electrical engineering in his 1962 article *"From Circuit Theory to System Theory"* ([10], p. 857.) Why was this needed? – Because there was *"a fairly wide gap between what might be regarded as 'animate' system theorists and 'inanimate' system theorists at the present time, and it is not at all certain that this gap will be narrowed, much less closed, in the near future."*

To continue Zadeh's line of thought: *"There are some who feel that this gap reflects the fundamental inadequacy of conventional mathematics – the mathematics of precisely defined points, functions, sets, probability measures, etc. – for coping with the analysis of biological systems, and that to deal effectively with such systems, which are generally orders of magnitude more complex than man-made systems, we need a radically different kind of mathematics, the mathematics of fuzzy or cloudy quantities which are not describable in terms of probability distributions. Indeed, the need for such mathematics is becoming increasingly apparent even in the realm of inanimate systems, for in most*

practical cases the a priori data as well as the criteria by which the performance of a man-made system are judged are far from being precisely specified or having accurately known probability distributions." ([10], p. 857).

Thus, Zadeh was thinking about a mathematical theory dealing with loose concepts, provided that these concepts are defined by the absence of strict boundaries. Three years later he introduced his theory of fuzzy sets and systems. He established the theory of fuzzy sets in his seminal paper "Fuzzy Sets" in the journal *Information and Control* [11]: In contrast to conventional (Cantorian) set theory, an object is not required to be either an element of a set (membership value 1) or not an element of this set (membership value 0), but can also have a membership value between 0 and 1. Thus he defined fuzzy sets by their *membership function* μ, which is allowed to assume any value in the interval [0, 1], rather than by their *characteristic function*, which assumes the values of only 0 or 1 [11].

At first Zadeh introduced the new mathematical entities – "fuzzy sets" – with "simple" examples only: "the 'class' of real numbers which are much larger than, say, 10" and "the 'class' of bald men", but also the 'class' of adaptive systems."[2] But he emphasized: *"Such classes are not classes or sets in the usual sense of these terms, since they do not dichotomize all objects into those that belong to the class and those that do not."* Zadeh introduced "the concept of a 'fuzzy set', which is a class in which there may be a continuous infinity of grades of membership, with the grade of membership of an object x in a fuzzy set A represented by a number $\mu_A(x)$ in the interval [0,1]." Zadeh maintained that these new concepts provide a "convenient way of defining *abstraction* – a process which plays a basic role in human thinking and communication." ([12] p. 29.)

The question was how to generalize various concepts – union of sets, intersection of sets, and so forth. Zadeh stated the definitions set out in Fig. 6.5 for all $x \in X$:

- $A = B$ if and only if $\mu_A(x) = \mu_B(x)$,
- $A \subseteq B$ if and only if $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$,
- $\neg A$ is the complement of A if and only if $\mu_{\neg A}(x) = 1 - \mu_A(x)$,
- $A \cup B$ if and only if $\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max}\ (\mu_A(x), \mu_B(x))$,
- $A \cap B$ if and only if $\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min}\ (\mu_A(x), \mu_B(x))$.

The space of all fuzzy sets in X becomes a distributive lattice with 0 and 1; thus, a propositional logic with fuzzy concepts constitutes fuzzy logic.

In April 1965, when the Symposium on System Theory took place at the Polytechnic Institute in Brooklyn, Lotfi Zadeh presented "A New View on System Theory," which deals with the concepts of fuzzy sets and provides "a way of treating fuzziness in a quantitative manner." In the symposium's proceedings, there is a shortened manuscript version of this talk under the heading "Fuzzy Sets and Systems." ([12], p. 29). In this paper, Zadeh defined the concept of a fuzzy system for the first time:

> *Definition: A system S is a fuzzy system if input u(t), output y(t), or state x(t) of S or any combination of them ranges over fuzzy sets.* ([12], p. 33.)

[2] To more details on the roots of fuzzy systems in system theory, the reader has to be referred to the author's book [1].

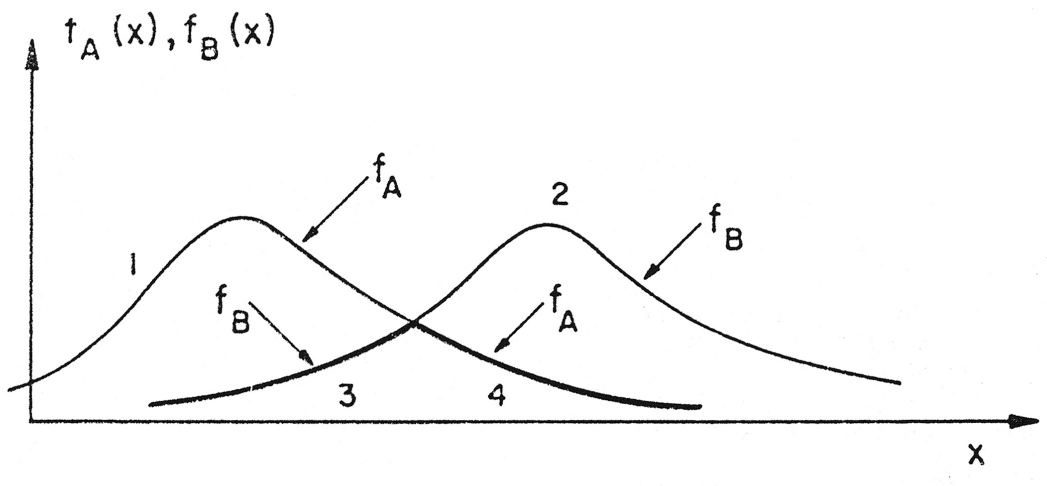


Figure 6.5:
Zadeh's illustration of fuzzy sets in $\mathbf{R}^1$:
"The membership function of the union is comprised of curve segments 1 and 2;
that of the intersection is comprised of segments 3 and 4 (heavy lines)"
[11]

Zadeh explained that "these concepts relate to situations in which the source of imprecision is not a random variable or a stochastic process but rather a class or classes which do not possess sharply defined boundaries." ([12] p. 29]) He argued that "the difference between stochastic and fuzzy systems is that in the latter the source of imprecision is nonstatistical in nature and has to do with the lack of sharp boundaries of the classes entering into the descriptions of the input, output or state." ([12], p. 33)

A propositional logic with fuzzy concepts constitutes a "logic of inexact concepts," as was demonstrated by Joseph Goguen, a Ph.D. student studying with Zadeh at Berkeley, in the late 1960s [13] and in his later published articles [14, 15]. For this logic, George Lakoff, a Berkeley professor of linguistics, introduced the term "fuzzy logic" in his 1973 paper "Hedges: A Study in Meaning Criteria and the Logic of Fuzzy Concepts" [16]. He was influenced by Zadeh's article "A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges," published in 1972 [17], where Zadeh treated natural languages, which are the means human beings use to express their perceptions and observations of real world systems and phenomena. In contrast to classical strict logic and artificial languages that appeared at that time in the field of computer science, natural languages and fuzzy logic were generally not considered to be adequate tools for science. This again reflects the gap between the basically unsharp character of human perceptions of systems and phenomena in the real world and the precision thought to be necessary in science. In this paper Zadeh introduced the expression "hedges" to describe linguistic fuzziness; they are

terms such as "very", "somewhat", "quite", "much", "more or less", "sort of", "essentially", etc. In Zadeh's view, hedges are "operators acting on fuzzy subsets of the universe of discourse". ([17], p. 468.)

In his article "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes", published the same year, Zadeh introduced the concept of "linguistic variables", which are variables whose values may be sentences in a specific natural or artificial language [18]. For example, the values of the linguistic variable "age" might be expressible as *young*, *very young*, *not very young*, *somewhat old*, *more or less young*. These values are formed with the label *old*, the negation *not*, and the hedges *very*, *somewhat*, and *more or less*. In this sense the variable "age" is a linguistic variable (see Fig. 6.6). Linguistic variables became a proper tool for reasoning without exact values. Since in many cases, it is either impossible or too time-consuming (and therefore too expensive) to measure or compute exact values, the concept of linguistic variables has been successfully used in many fuzzy application systems, e. g., in control and decision making.

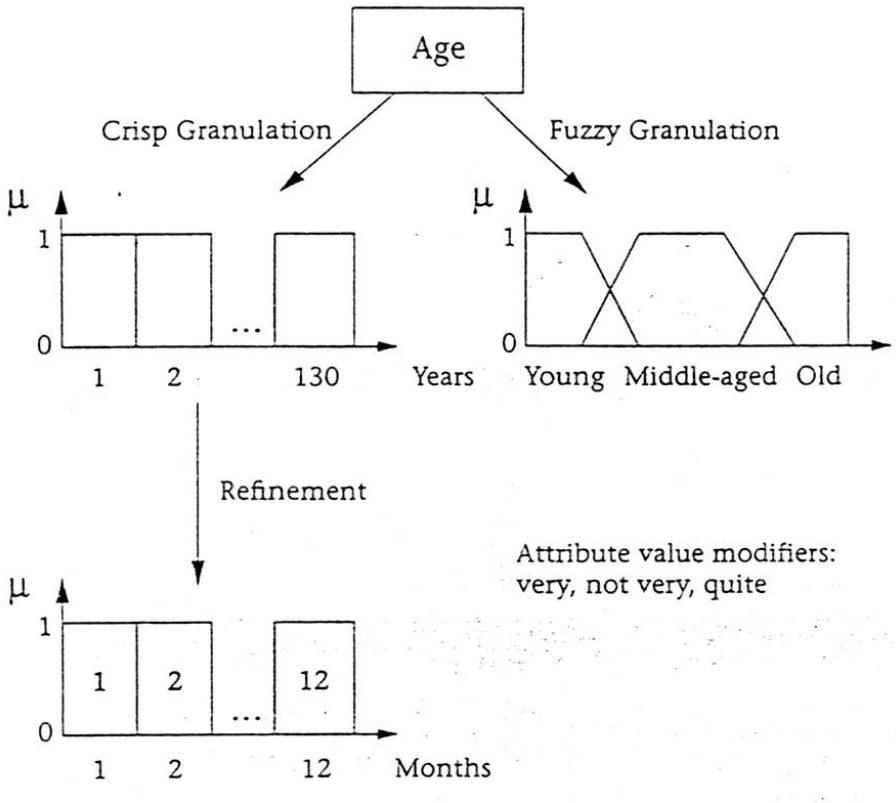


Figure 6.6:
Crisp and fuzzy variable "age"

[19]

In "Similarity Relations and Fuzzy Orderings" [20], written in 1973, Zadeh substantiated the concept of *fuzzy* relations: If $L(A \times B)$ is the set of all fuzzy sets in the Cartesian product $A \times B$ of ordinary sets A and B, then a fuzzy relation is a subset of $L(A \times B)$. Using three sets A, B, and C to compose fuzzy relations $Q \subseteq L(A \times B)$ and $R \subseteq L(B \times C)$ to get a new fuzzy relation $T \subseteq L(A \times C)$, he introduced the combination rule of a *max-min composition*: $T = Q \ _* \ R$ is defined by the following membership function:

$$\mu_T(x,z) = \max_{y \in Y} \min \{\mu_Q(x,y); \mu_R(y,z)\},\ y \in Y.\ [20]$$

6.7 Computing with Words and the Computational Theory of Perceptions

In the early days, Zadeh called for "the principles and organization of machines which behave like a human brain," but in the later years of the last century he realized that "thinking machines" do not think as humans do. In the years following this, he changed his view on research and from the mid-1980s he focused on "Making Computers Think like People" [21]. For this purpose, the machine's ability "to compute with numbers" was supplemented by an additional ability that was similar to human thinking. Zadeh was and is inspired by the "remarkable human capability to perform a wide variety of physical and mental tasks without any measurements and any computations". In many papers he has given everyday examples of such tasks: parking a car, playing golf, deciphering sloppy handwriting, and summarizing a story. Underlying this is the human ability to reason with perceptions – "perceptions of time, distance, speed, force, direction, shape, intent, likelihood, truth, and other attributes of physical and mental objects." ([22], p. 903). As a potential replacement of exact computing with numbers, he proposed computing with words (CW) in 1996 in an article entitled "Fuzzy Logic = Computing with Words". He claimed that "the main contribution of fuzzy logic is a methodology for computing with words. No other methodology serves this purpose" ([23], p. 103). Three years later he published "From Computing with Numbers to Computing with Words – From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions", to show that the new computational theory of perceptions (CTP) is based on the methodology of CW.

In 2001 Zadeh published *A New Direction in AI. Toward a Computational Theory of Perceptions* [25]. The "computational theory of perceptions" (CTP) was inspired by the remarkable human capability to operate on, and reason with, perception-based information. Zadeh wrote: *"Humans have a remarkable capability to perform a wide variety of physical and mental tasks without any measurements and any computations. Everyday examples of such tasks are parking a car, driving in city traffic, playing golf, cooking a meal, and summarizing a story. In performing such tasks, for example, driving in city traffic, humans base whatever decisions have to be made on information that, for the most part, is perception, rather than measurement, based. In CTP, words play the role of labels of perceptions and, more generally, perceptions are expressed as propositions in natural language."* ([24], p. 105)

In [23] and [24] Zadeh pointed out that 1) measurements can be represented or manipulated by numbers, and 2) we are able to represent or manipulate perceptions with words. Therefore we have a hierarchy of methodologies in a "stack" shown in Fig. 6.7. Zadeh intended to establish these methodologies as a new dimension of artificial intelligence. His thesis was *"that progress has been, and continues to be, slow in those areas where a methodology is needed in which the objects of computation are perceptions – perceptions of time, distance, form, and other attributes of physical and mental objects."* ([25], p. 73).

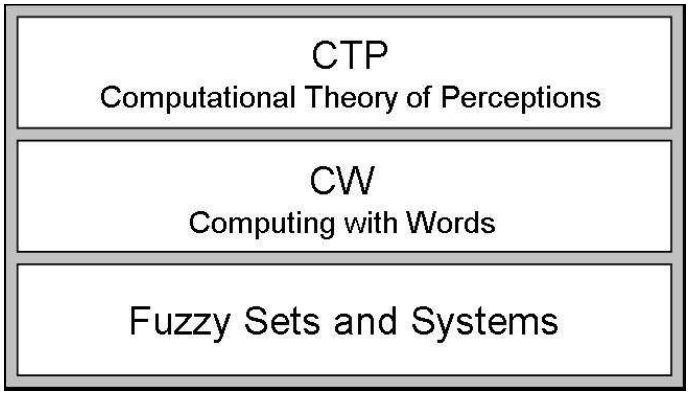


Figure 6.7:
The "stack hierarchy" of Zadeh's methodologies

In the *AI Magazine* article he again presented a "new view" on system theory, namely perception-based system modeling:

> *Definition:* "A system, S, is assumed to be associated with temporal sequences of input X_1, X_2, ...; output Y_1, Y_2, ...; and states S_1, S_2, ... S_2 is defined by the state-transition function f and the output function g. [25].

An illustration of perception-based system modeling is given in Fig. 6.8. It should be noted that the same system equations were used in system theory and fuzzy system theory, but the meanings of input, state, and output have been changed: in perception-based system modeling, they are assumed to be perceptions, such as the state-transition function, f, and the output function, g. ([25], p. 77.)

The methodology-hierarchy of FSS, CW, and CTP is today at the core of "soft computing" or "computational intelligence," which became part of the field of artificial intelligence (AI) at the beginning of the new century. In the next section, this hierarchy of methodologies for bridging the gap between real and theoretical systems will be approached from a philosophical point of view. Future prospects for developments in science and the philosophy of science will be explored. The so-called structuralist approach to scientific theories will be surveyed and this approach will be modified or "fuzzified" by

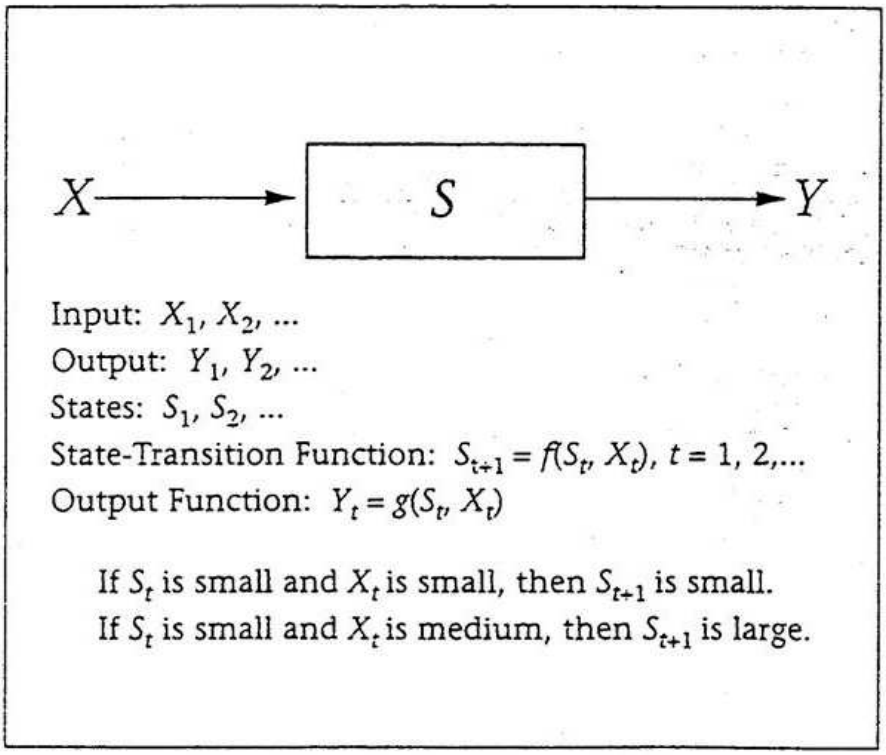


Figure 6.8:
Illustration of perception-based system modeling
in Zadeh's *AI Magazine* article.

[25]

extending the structuralist framework, using fuzzy sets and fuzzy relations to represent perceptions.

6.8 The Structuralist View of Science

The philosophy of science deals with the basis of science, its assumptions and implications, its methods and results, and its theories and experiments. We can distinguish between the philosophy of physics and astronomy, chemistry, and other empirical sciences, and we can also be interested in philosophies of social sciences and the humanities. However, these differing philosophies of scientific disciplines arose in differing historical periods, and the earliest philosophical reflections on modern science started with theories and experiments in mechanics in the 17^{th} century. Two main views in the philosophy of science arose at about the same time: The philosophical view of *rationalism* employed fundamental, logical, and theoretical investigations using logics and mathematics to formulate axioms and laws, whereas the view of *empiricism* was to have experiments to find or prove or refute natural laws. In both directions – from experimental results to

theoretical laws or from theoretical laws to experimental proofs or refutations – scientists have to bridge the gap that separates theory and practice in science.

From the empiricist point of view the source of our knowledge is sensory perception. The English philosopher John Locke (1632–1704) used the analogy of the mind of a newborn as a "tabula rasa" that will be filled with the sensual perceptions the baby has later. In Locke's opinion these perceptions provide information about the physical world. Locke's view is called "material empiricism", whereas so called idealistic empiricism was represented by George Berkeley (1684–1753), an Irish philosopher, and David Hume (1711–1776), a Scottish philosopher: the material world does not exist; only perceptions are real.

This epistemological dispute is of great interest for historians of science. Since it has continued to the present day, it is still a key concern for philosophers of science now. Searching for a bridge over the gap between rationalism and empiricism is a permanent issue in the history of philosophy of science.

Two trends in obtaining systematic rational reconstructions of empirical theories can be found in the philosophy of science in the latter half of the 20^{th} century: the *Carnap approach* (named after the German/US-American philosopher Rudolf Carnap (1891–1970)) and the *Suppes approach* (named after the US-American philosopher and mathematician Patrick Suppes (born 1922). In both approaches, the first step consists of an axiomatization that seeks to determine the mathematical structure of the theory in question. The difference between these views can be found in the manner in which this task is performed. Carnap was firmly convinced that only formal languages can provide suitable tools to achieve the desired precision. Consequently, the Carnap approach claims that a theory has to be axiomatized within a formal language. On the other hand, the Suppes approach uses informal logic and informal set theory. Thus, in this approach, one is able to axiomatize physical theories in a precise way without recourse to formal languages. This approach traces back to the proposal of Suppes in the 1950s to include the axiomatization of empirical theories of science in the metamathematical program of the French group "Bourbaki" [26]. The Suppes approach is the basis of what is now called the *structuralist view* in the philosophy of science.

In the 1970s Joseph D. Sneed developed informal semantics meant to consider not only mathematical aspects, but also application subjects of scientific theories in this framework, based on this method. In [27], Sneed presents this view as stating that all empirical claims of physical theories have the form "x is an S" where "is an S" is a set-theoretical predicate. Every physical system that fulfills this predicate is called a model of the theory. To give concrete examples, the class M of a theory's models is characterized by empirical laws that consist of conditions governing the connection of the components of physical systems. Therefore, we have models of a scientific theory, and by removing their empirical laws, we get the class M_p of so-called potential models of the theory. Potential models of an empirical theory consist of theoretical terms, i. e., observables with values that can be measured in accordance with the theory. This connection between theory and empiricism is the basis of the philosophical "problem of theoretical terms."

If we remove the theoretical terms of a theory in its potential models, we get structures that are to be treated on a purely empirical layer; we call the class M_{pp} of these structures of a scientific theory its "partial potential models." Finally, every physical theory has a class I of intended systems (or applications) To make it clear that this concept reflects both sides of scientific theories, the classes M_p and M and the classes M_{pp} and I are shown in "layers" in Fig. 6.9: M_{pp} and I are entities of an empirical layer, whereas M_p and M_{pp} are structures in a theoretical layer of the schema.[3]

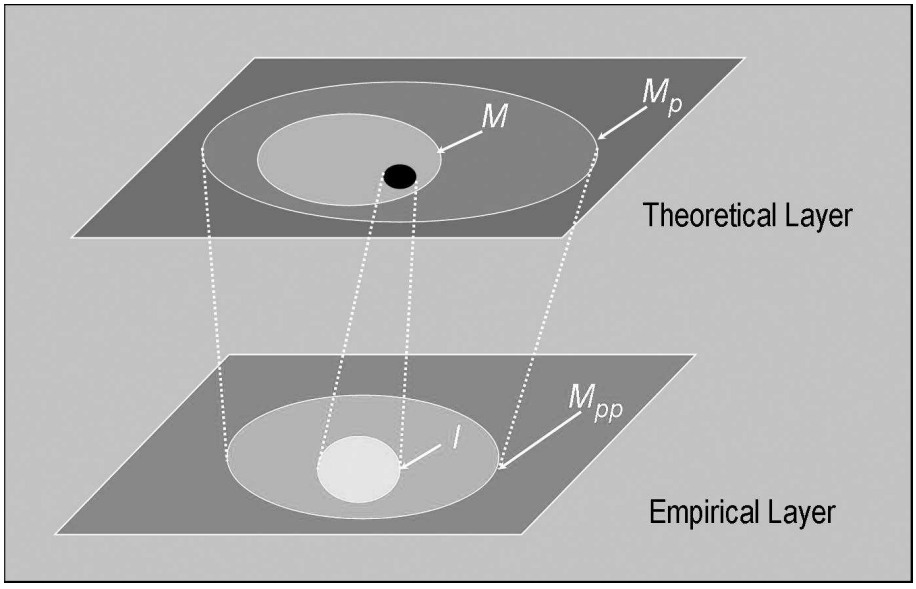


Figure 6.9:
The structuralist view of science in a two-layer structure

6.9 A Fuzzy Structuralist View of Science

Our modification of the structuralist approach in the philosophy of science pertains to the empirical layer in Fig. 6.1. Now, we will distinguish between real systems and phenomena, on the one hand, and perceptions of these entities, on the other. Thus we introduce a lower layer – the "real" layer – and we rename our former empirical layer as a "fuzzy layer," as the partial potential models and intended systems are not real systems, having a minimal structure by the scientist's observation (see Fig. 6.10). They are perception-based systems and therefore we have to distinguish them from real systems and phenomena that have no structure before someone imposes one on them.

[3] In the last decades of the 20^{th} century, Wolfgang Stegmüller (1923–1991), the Mexican-German philosopher Carlos Ulises Moulines, the German philosopher Wolfgang Balzer, and others developed this view into a framework intended to analyze networks of theories and the evolution of theories [28].

The layer of perceptions lies between the layer of real systems and phenomena and the layer of theoretical structures. According to Zadeh's computational theory of perceptions (CTP), we represent perceptions in this intermediate layer as fuzzy sets. Whereas measurements are crisp, perceptions are fuzzy, and because of the resolution of our sensory organs (e. g., the aligning discrimination of the eye) perceptions are also granular, as Zadeh wrote in the *AI Magazine* in 2001: "perceptions, in general, are both fuzzy and granular or, for short f-granular" [25].

When Zadeh established the CTP on the basis of CW that in turn is based on his theory of FSS, he firmly believed that these methodologies would attain a certain position in science: "In coming years, computing with words and perceptions is likely to emerge as an important direction in science and technology" [24]. To take Zadeh at his word, we will establish his methodologies of fuzzy sets, computing with words and perceptions in our structuralist approach in the philosophy of science. As mentioned above, we will introduce a fuzzy layer of perceptions between the empirical layer of real systems and phenomena and the theoretical layer, where we have the structures of models and potential models. Thus the relationship between real systems and theoretical structures has two parts: fuzzification and defuzzification.

6.9.1 Fuzzification: From Phenomena to Perceptions

Measurements are crisp; perceptions are fuzzy and granular. To represent perceptions we use fuzzy sets, e. g., A^F, B^F, C^F, ... It is also possible that a scientist perceives not only single but interlinked phenomena, e. g., two entities move similarly or inversely, or something is faster than something else, or it is brighter or smells in an analogous way, etc. Such relationships can be characterized by fuzzy-relations f^F, g^F, h^F, ...

6.9.2 Defuzzification: From Perceptions to Models

"Measure what is measurable and make measurable what is not so" is a statement attributed to Galileo. In modern science this is the way to move from perceptions to measurements or, respectively, quantities to be measured. We interpret this transfer as a defuzzification from perceptions represented by fuzzy sets A^F, B^F, C^F, ... and relations between perceptions represented by fuzzy relations f^F, g^F, h^F, ... to ordinary (crisp) sets A^C, B^C, C^C, ... and relations f^C, g^C, h^C, ... These sets and relations are basic entities to construct (potential) models.

6.9.3 Theoretization: From Phenomena to Models

The composition of fuzzification and defuzzification yields the operation of a relationship T that can be called theoretization, because it transfers phenomena and systems from the real layer to structures in the theoretical layer (see Fig. 6.10).

In the structuralist view of theories the concept of theoretization is defined as an intertheoretic relation, i. e., a set theoretical relation between two theories T and T'. This theoretization relation exists if T' results from T by adding new theoretical terms

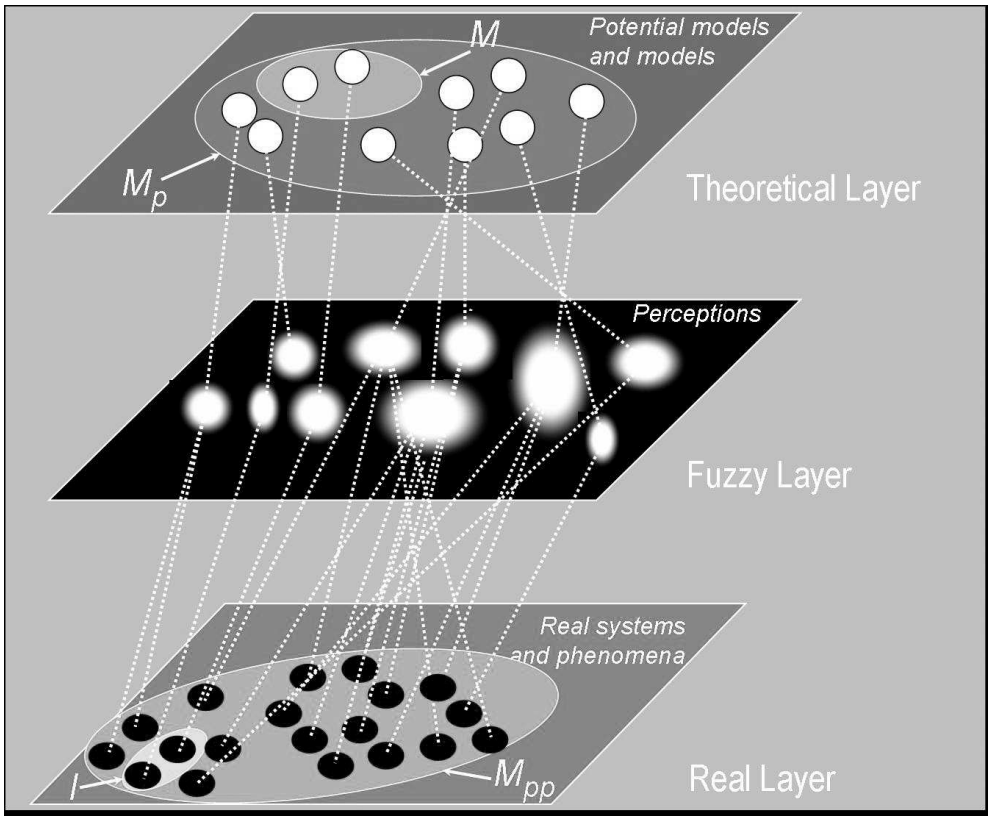


Figure 6.10:
The fuzzy structuralist view of science in a three-layer structure:
empirical, fuzzy, and theoretical layers of crisp and fuzzy structures,
fuzzification between the empirical layer and the fuzzy layer,
and defuzzification between the fuzzy layer and the theoretical layer.

and introducing new laws that connect the former theoretical terms of theory T with this new theoretical terms in theory T'. Successive addition of new theoretical terms establishes a hierarchy of theories and a comparative concept of theoriticity. In this manner the space-time theory arose from Euclidean geometry by adding the term "time" to the term "length," and from classical space-time-theory we get classical kinematics by adding the term "velocity." Classical kinematics is turned into classical (Newtonian) mechanics by the additional introduction of the terms "force" and "mass."

- The old theory T is covered with a new theoretical layer by the new theory T'.
- T-theoretical terms are not T'-theoretical but T'-non-theoretical terms and reciprocally they may not be any of the T-non-theoretical terms. The old theory must not be changed by the new theory in any way!

- In this hierarchy, it holds that the more theoretical terms exist higher in the hierarchy, while the lower layers are characterized by the non-theoretical basis of the theory.

What happens in the lowest layer of this hierarchy? Here, a theory T exists, with theoretical terms and relations, but it is not a theoretization of another theory. This theory T covers phenomena and intended systems initially with theoretical terms. This is an initial theoretization because the T-theoretical terms are the only theoretical terms in this situation. They have been derived directly as measurements from observed phenomena. This derivation is called theoretization and is a serial connection between fuzzification and defuzzification.

6.10 Outlook: Hertz's pictures, Wittgenstein's family resemblances, and Zadeh's fuzzy sets

From a historical point of view it can be shown that the theory of fuzzy sets and systems was created by the electrical engineer and system scientist Lotfi A. Zadeh to bridge the gap between exact mathematical formulated scientific theories, on the one hand, and empirical observations, experimental findings, and phenomena in the laboratories, on the other. In this contribution we have applied this meta-scientific achievement in the area of the philosophy of science and epistemology. To this end we have employed the approach of the structuralist program to represent the structures of scientific theories and their intertheoretical relations by using classical (Cantorian) set theory.

In the classical structuralist view of scientific theories there is an empirical layer of "real" phenomena and systems that have some minimal structure and a theoretical layer of potential models and models that are fully structured entities. But there is no representation of the observer's role and of his perceptions.

The modified view of the structuralist approach that is presented in this paper only as a proposal that will be worked out in detail in the near future comprises a layer of fuzzy sets and fuzzy relations taking into account the difference between real phenomena and systems, on the one hand, and the observer's perceptions of these real entities, on the other. This extended structuralist view – we can call it the "fuzzy structuralist view" – of scientific theories may open up a new and fruitful way to understand scientific research.

In the fuzzy structuralist approach, we construct a fuzzy layer to represent the scientist's perceptions with fuzzy sets, since these perceptions belong to neither real systems nor phenomena nor theoretical entities or structures. In the epistemological system of Heinrich Hertz, which he never published, but which is recorded in his Kiel lecture transcripts on *The Constitution of Matter* ten years before his *Principles of Mechanics* was published, we find a very similar hierarchy in the epistemological system of Hertz. As in the more well-known *Principles of Mechanics*, he distinguished between things and conceptions of things (pictures, symbols), and he also made a distinction between things, conceptions of things and their cores. These cores are abstractions of the conceptions, because the conceptions of things (or their pictures) are constructed not only from their

essential attributes but also from their circumstantial attributes. What Hertz said is that we have to distinguish between these imaginary constructs that "we can bring to mind" ([4], p. 36) and their cores, which are not in our mind but in a more abstract layer, i. e., the theoretical layer. Hertz's distinction between three kinds of epistemological entities – things, conceptions of things, and cores of conceptions of things – is in accordance with the hierarchy of the three layers: empirical layer, fuzzy layer, and theoretical layer.

We have pointed out in this contribution that Ludwig Wittgenstein in his *Tractatus* referred to Heinrich Hertz's epistemological system from the *Principles of Mechanics*. Later, when he wrote *Philosophical Investigations*, Wittgenstein had changed his viewpoint. As we have seen, in his later philosophical thinking Wittgenstein abandoned the simple picture-concept that he had introduced in his *Tractatus* and established the concept of family resemblances.

In this contribution we interpreted family resemblances of concepts as unsharp concepts – as concepts without exact borders – and we argued that we can model these inexact entities by means of fuzzy sets. Therefore we stressed an accordance between family resemblances of concepts in the sense of Wittgenstein and pictures (or conceptions) of things in the sense of Hertz, and fuzzy sets that represent perceptions in the sense of Zadeh. We emphasized that Zadeh's computational theory of perceptions is an appropriate methodology to represent scientists' observations of real things and phenomena. We said that we have to distinguish between these "real" things and phenomena and the perceptions of these empirical entities, and from both of these kinds of epistemological entities we must also distinguish between the theoretical entities and structures that can form the framework of a scientific theory. Therefore, using Zadeh's fuzzy sets and systems, we established a fuzzy structuralist view of the epistemological systems of Heinrich Hertz and Ludwig Wittgenstein to bridge the gap between empirical observations and the abstract construction of theoretical structures by means of fuzzy sets that represent human perceptions. Figure 10 shows our proposal in a diagram with three layers. It is similar to the diagram we showed in the context of Heinrich Hertz's epistemological system in *The Constitution of Matter* – see Fig. 6.4. Unlike the two-layer diagram (see Fig. 6.3) we used for the epistemological system of Wittgenstein II, there is an upper layer of abstract cores of conceptions (images).

Acknowledgment

I would like to thank Lotfi A. Zadeh (Berkeley) for his generous help and unstinted willingness to support my historical project on the theory of fuzzy sets and systems during the past 10 years. I would like to thank Wolfgang Balzer (Munich), my former supervisor in the philosophy of science for his introduction to the structuralist view of theories. Many thanks go to Dieter Straub (Munich) and Jerry Mendel (Los Angeles) for important and enjoyable discussions that have opened up a new area for philosophical research and Witold Pedrycz (Edmonton) for his encouragement to make a shift towards this interdisciplinary and science-oriented research project. The idea to associate the fuzzy structuralist view on science with the epistemological system of Heinrich

Hertz occurred to me during a discussion with contributions by Hans-Joachim Braun (Hamburg) and Wolfgang König (Berlin) after my talk "Epistemische, technische und unscharfe Momente im empirischen Forschungsprozess – Oder: Sind Rheinbergers Experimentalsysteme auch fuzzy?" at the Wissenschaftliche Jahrestagung der Gesellschaft für Technikgeschichte in Freiberg, May, 11–13, 2007. Thanks to both of these professors of history of technology! Finally, I would like to thank Jeremy Bradley (Vienna) for his help in preparing this contribution.

6.11 References

1 Seising, Rudolf: *The Fuzzification of Systems. The Genesis of Fuzzy Set Theory and Its Initial Applications – Its Development to the 1970s.* Berlin et al.: Springer (Studies in Fuzziness and Soft Computing 216) 2007. German edition: *Die Fuzzifizierung der Systeme. Die Entstehung der Fuzzy Set Theorie und ihrer ersten Anwendungen – Ihre Entwicklung bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts.* Stuttgart: Franz Steiner Verlag (Boethius: Texte und Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften Band 54) 2005.

2 Seising, Rudolf: On the Absence of Strict Boundaries – Vagueness, Haziness, and Fuzziness in Philosophy, Medicine, and Science. In: *Applied Soft Computing* **Vol. 8**, Issue 3, June 2008, (Special Issue: Forging the Frontiers), S. 1232–1242. (Available online: `doi:10.1016/j.asoc.2007.02.017`).

3 Heinrich Hertz: *The Principles of Mechanics Presented in a New Form.* New York: Dover 1956.

4 Heinrich Hertz: *Die Constitution der Materie.* (*The Constitution of Matter.*) Edited by Albrecht Fölsing. Berlin et al.: Springer 1999.

5 Wittgenstein, Ludwig: *Tractatus logico-philosophicus.* London: Routledge & Kegan Paul 1922. (First in German: Ludwig Wittgenstein: Logisch-Philosophische Abhandlung. *Ostwalds Annalen der Naturphilosophie* **Band 14**, Leipzig 1921.

6 Wittgenstein, Ludwig: *Philosophical Investigations.* Ed. by Gertrude E. M. Anscombe and R. Rhees. Translated by Gertrude E. M. Anscombe. Oxford: Blackwell 1953.

7 Wittgenstein, Ludwig: „Tagebucheintrag." In: *Werkausgabe* in acht Bänden. Hrsg. von Gertrude E. M. Anscombe, Rush Rhees and Georg Henrik von Wright. Frankfurt am Main: Suhrkamp, Bd. 8, 1984.

8 Russell, Bertrand: "Introduction." In: [3], pp. 7–23.

9 Wittgenstein, Ludwig: *Das Blaue Buch.* In: *Werkausgabe* in acht Bänden. Hrsg. von Gertrude E. M. Anscombe, Rush Rhees and Georg Henrik von Wright. Frankfurt am Main: Suhrkamp, Bd. 5, 1984.

10 Zadeh, Lotfi A.: "From Circuit Theory to System Theory". *Proceedings of the IRE* **50** (1962), pp. 856–865.

11 Zadeh, Lotfi A.: "Fuzzy Sets." *Information and Control* **8** (1965), pp. 338–353.

12 Zadeh, Lotfi A.: "Fuzzy Sets and Systems." In: Fox, J. (ed.): *System Theory.* Microwave Res. Inst. Symp. Ser. XV. Brooklyn, New York: Polytech. Pr. 1965, pp. 29–37.

13 Goguen, Joseph A.: "Categories of Fuzzy Sets: Applications of a Non-Cantorian Set Theory." Ph.D. Dissertation, Dept. University of California at Berkeley, June 1968.

14 Goguen, Joseph A.: "The Logic of Inexact Concepts." In: *Synthese* **19** (1969), pp. 325–373.

15 Goguen, Joseph A.: L-Fuzzy Sets. In: *J. Mathematical Anal. Appl.* **18** (1967), pp. 145–174.

16 Lakoff, George: "Hedges: A Study in Meaning Criteria and the Logic of Fuzzy Concepts." In: *Journal of Philosophical Logic* **2** (1973), pp. 458–508.

17 Zadeh, Lotfi A.: "A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges." In: *J. Cybernetics* **2** (1972), pp. 467–498.

18 Zadeh, Lotfi A.: "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes." In: *IEEE Trans. Sys., Man, Cyb.*, SMC-3 **1** (1973), pp. 28–44.

19 Zadeh, Lotfi A.: "On the Analysis of Large-Scale Systems." Memorandum No. ERL-M418, College of Engineering, UC, Berkeley, January 8, 1974.

20 Zadeh, Lotfi A.: "Similarity Relations and Fuzzy Orderings." In: *Information Sciences* **3** (1971), pp. 177–200.

21 Zadeh, Lotfi A.: "Making Computers Think like People." In: *IEEE Spectrum* **8** (1984), pp. 26–32.

22 Zadeh, Lotfi A.: "The Birth and Evolution of Fuzzy Logic – A Personal Perspective." Part 1 and 2. In: *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Systems* **11** (1999) 6, pp. 891–905.

23 Zadeh, Lotfi A.: "Fuzzy Logic = Computing with Words." In: *IEEE Transactions on Fuzzy Systems* **4** (1996) 2, pp. 103–111.

24 Zadeh, Lotfi A.: "From Computing with Numbers to Computing with Words – From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions." In: *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications* **45** (1999) 1, pp. 105–119.

25 Zadeh, Lotfi A.: "A New Direction in AI. Toward a Computational Theory of Perceptions." In: *AI-Magazine* **22** (2001) 1, pp. 73–84.

26 Bourbaki, Nicolas (pseudo.): *Elements of Mathematics: Theory of Sets.* Reading, Mass.: Addison-Wesley 1968.

27 Sneed, Joseph D.: *The Logical Structure of Mathematical Physics.* Dordrecht: Reidel 1971.

28 Balzer, Wolfgang; Moulines, C. U. and J. D. Sneed: *An Architectonic for Science. The Structuralist Program.* Dordrecht: Reidel 1987.

Figure 6.11:
James Clerk Maxwell (1831–1879)

Lenard 1930, 283.

ELECTROMAGNETISM AND ELECTRODYNAMICS – THEORY AND EXPERIMENT

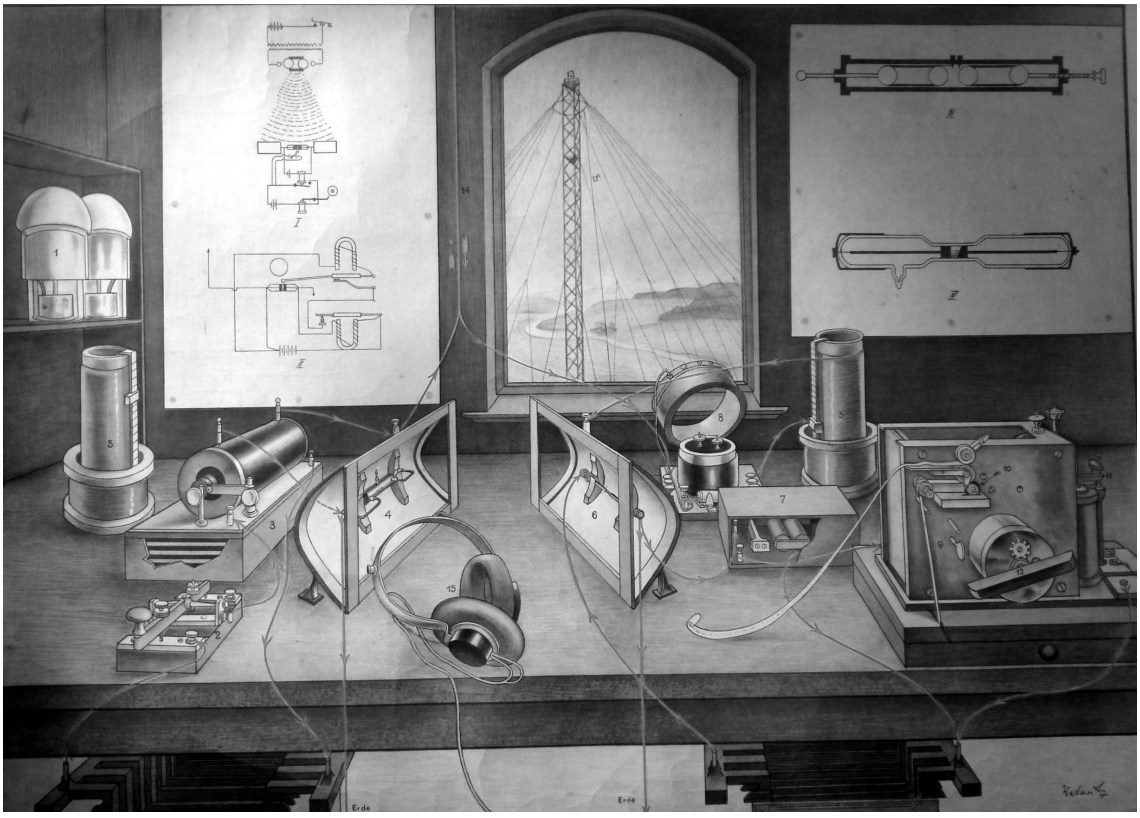


Figure 6.12:
Hertz' discovery of electromagnetic waves
Museum für Kommunikation – Foto: Gudrun Wolfschmidt

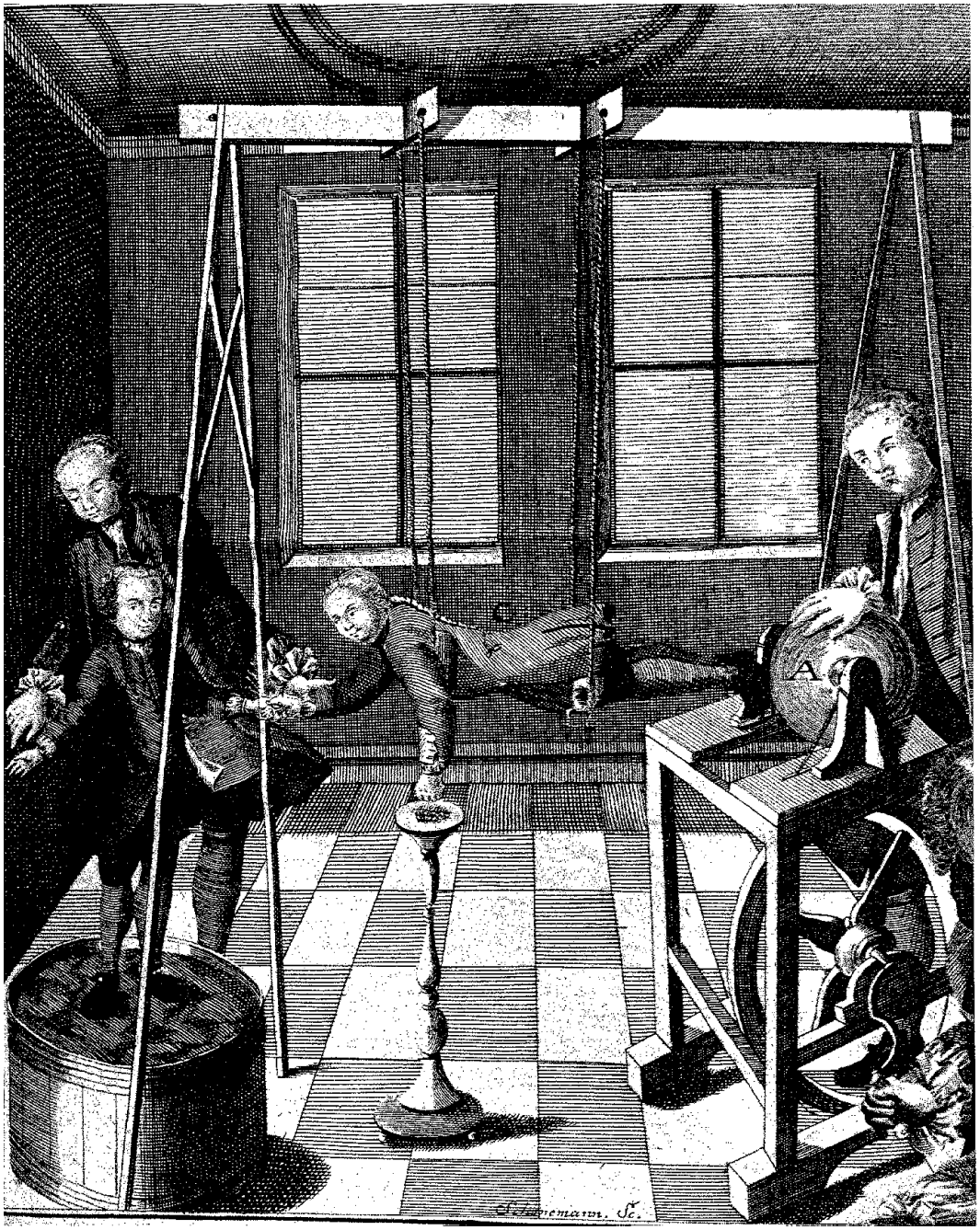


Figure 7.1:
Christian August Hausen's frontispiece

Hausen 1743.

Some experimental uses of sparks – 18th century electricity research

Peter Heering (Oldenburg)

Abstract: Experimentieren mit Funken im 18. Jahrhundert

In diesem Beitrag diskutiere ich verschiedene elektrische Experimente des 18. Jahrhunderts, in denen elektrische Funken eine wesentliche Rolle spielten.[1] Auch wenn die Elektrizitätsforschung dieser Zeit aus heutiger Sicht den Bereich der Elektrostatik abdeckt, so waren die Experimente keineswegs auf die Schaffung statischer Situationen beschränkt, sondern beinhalteten gerade auch dynamische Vorgänge. Im Rahmen dieser Darstellung kommt es mir darauf an, die an diesen Experimenten festzustellenden Charakteristika der experimentellen Praxis deutlich zu machen. Dabei konzentriere ich mich in der Diskussion auf solche Experimente, die entweder besonders unterhaltenden Charakter hatten oder aber die im Zusammenhang mit einer der Anwendungen von Elektrizität im 18. Jahrhundert standen – dem Blitzableiter. Mit der Diskussion dieser Experimente soll ein Kontrast zur experimentellen Praxis, die an den Arbeiten von Hertz festzumachen ist, deutlich werden und somit eine Einordnung dieser Praxis erleichtert werden.

7.1 Introduction

When looking at 18^{th} century research in the field of electricity, it is evident that the term electricity is not what people in the 21^{st} century associate with it but just a part of it which we call electro*statics* nowadays. As the name already seems to indicate, this field is basically focusing on electrically charged objects, their properties and their behaviour whilst the electrical situation remains static and unchanged. Consequently, as it might seem, charge distribution and discharges would be a major threat to the

[1] This paper discusses some of the experiments I demonstrated during the opening session of the conference. I am indebted to Gudrun Wolfschmidt for inviting me, to the Landesbibliothek Oldenburg for permission to reproduce the figures 1, 2, 3, 5, 9; and to the Bakken Library and Museum for Electricity in Life for permission to reproduce the figures 4, 6, 7, 8, 10, 11.

experimental success. Yet, this notion derives from our modern understanding of electrostatics. In the 18^{th} century, the majority of electrical experiments were based on producing discharges – in some examples they are to be taken as being a necessity.[2] Such a requirement was related to the conceptual understanding the researcher had – and the conceptual understanding of electricity was still very open and unsettled during the 18^{th} century. Particularly in the middle of the 18^{th} century, a large variety of theories can be found.[3] Yet, despite this variety of theories, some general aspects can still be formulated: Electrical effects in most cases were explained by the actions of some imponderable fluid; however, it remained unclear whether it was one fluid or two. Besides, electrical research in the 18^{th} century can be labelled as being empirical, a variety of experiments were carried out, communicated, repeated and varied.

7.2 Some general aspects of 18th century electrical experiments

Electricity was only developed as a research topic during the 17^{th} century. Most historians related the initial research on electrical phenomena to William Gilbert. He published a brief chapter on phenomena that can be observed when certain bodies are rubbed. Their ability to attract light bodies was taken as an indication that they became electrical (see Fig 1). The rod became electrified by being rubbed; this was indicated by its ability to attract light objects. At the same time, this image shows already another way of determining whether an object was electrified – the reaction of the human body towards the electrified object. This became a dominant feature in the electrical experimentation as the sensation made it not only possible to identify whether an object was electrified but also to give an indication of the intensity.

Yet, it was not until the 18^{th} century that electrical research became a major topic of natural philosophy. One can discuss several aspects why only some individuals carried out electrical research during the 17^{th} century. However, one important aspect with respect to the 18^{th} century lies in the development of the Enlightenment: It became relevant for educated persons to have an interest in natural processes. As Walters points out, *"English polite science literature introduced natural philosophy as a subject to be learned by 'young gentlemen and ladies' in order to participate in the adult society of the elders; learning a little science was thus presented not as a matter of emulating one's social betters, but rather as a part of growing up."*[4]

Moreover, carrying out or at least attending experiments in the field of natural philosophy became fashionable. Among these experiments were also electrical ones, practitioners could even make a living out of these demonstrations. Besides the air-pump, the electrostatic generator was one of the most popular devices in this field. Electrical experiments were attractive on the one hand, because they could be created in an en-

[2] To give just one example: to the French natural philosopher Jean Paul Marat, electricity was only acting when in motion. This had direct consequences for his attempts to apply electricity in a medical context, for a discussion of this aspect see Heering 2001.

[3] For a detailed discussion of these theories see Heilbron 1979.

[4] Walters 1997, 124.

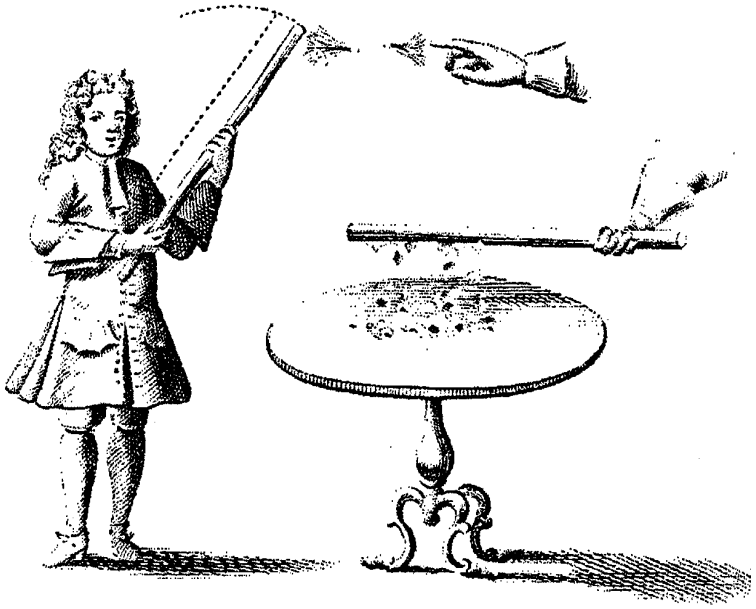


Figure 7.2:
Demonstration of electricity

Desaguliers 1744.

tertaining and educating manner. At the same time, electricity was one of those fields where interested persons could still contribute their results and thus participate actively in the field of natural philosophy.

7.3 Generating electricity

Until the 18^{th} century, electricity was generated by rubbing materials. One of the most famous images showing this procedure was used as a frontispiece in several works published by Nollet (Fig. 7.3). This image shows a demonstration of electrical experiments at the court of Versailles. As one can see, the demonstrator is using a rubbed rod and charging a person which is insulated. Being charged is indicated on the one hand by demonstrating the ability to attract light particles, on the other hand, the women on the very left side is trying to draw a spark out of the nose.

A similar image was used by Hausen as a frontispiece to his work (Fig. 7.1). However, despite a lot of similarities (the person being insulated by being suspended, demonstrating being charged by attracting light objects) there is one major difference: electricity is no longer generated by simply rubbing a rod, but its generation is improved by using a machine. This can be seen as a first step towards the intensification of electrical effects.[5]

[5] From the middle of the18^{th} century onwards, the electrostatic generator was modified in two technical details: The person who was insulated by suspension and was to collect the electricity was replaced

Figure 7.3:
Nollet's frontispiece

Nollet 1746.

However, it was not that much the modification of the electrical machine but another invention that can be taken as a promoter of electrical experimentation – the Leyden jar.

7.4 The Leyden jar

Simplified, the Leyden can be described as a phial filled with water in which a nail is inserted. The experimenter holds the phial in his or her hand and attempts to charge the water by connecting the nail with the conductor of the electrical machine. Actually, this is how this device was developed, or should one term this a discovery, as the effect was completely unexpected. It was first described by Ewald Jürgen Kleist, however, his account of very severe shocks given by this phial did not result in a positive result, as the correspondents, to whom he sent his reports, were not able to reproduce his findings. Shortly after this failure, Pieter van Musschenbroek, a Leyden natural philosopher, described a similar effect of an electrified bottle with water. He reported to the Paris Academy of Science that this device was able to administer much stronger shocks than any electrical machine did. This time, the Academy was able to confirm the report, basically because Musschenbroek pointed out one detail of the experiment explicitly: The necessity of the experimenter to be grounded carefully whilst charging the bottle (see Fig. 7.4).

This was contrary to the standards established up-to-then – experimenters had to be insulated when performing electrical experiments (see Fig. 7.3 and Fig. 7.1). Only lay persons such as Kleist or Cuneus (a visitor to Musschenbroeks house who, in attempting to charge water, initially received the strong shock from the bottle) did not know about this standard. Therefore, only lay persons were able to discover the effect of the Leyden jar. Yet, it was Musschenbroek with his expertise who was able to communicate the effect in a manner that enabled the Academicians to reproduce the effect.

7.5 Experimenting with electrical devices

Following the publication of the Leyden experiments, utilizing this new device became extremely popular. By combining several jars to a battery (see Fig. 7.5), new effects could be realised such as firing off a cannon, melting a wire, reversing the poles of a magnetic needle and killing a frog.

In particular, killing animals became a popular demonstration – this was not limited to frogs but included birds and mammals such as cats and dogs. These experiments can be compared with what had been depicted in Joseph Wright of Derby's famous painting

by a metallic cylinder, in most cases combined with a collecting comb. At the same time, the person who was rubbing the sphere was replaced by a cushion. As a result, one single person could carry out electrical experiments. Moreover, the amount of electricity available for experimentation was increased. For a detailed discussion of the development of electrostatic generators see Hackmann 1978.

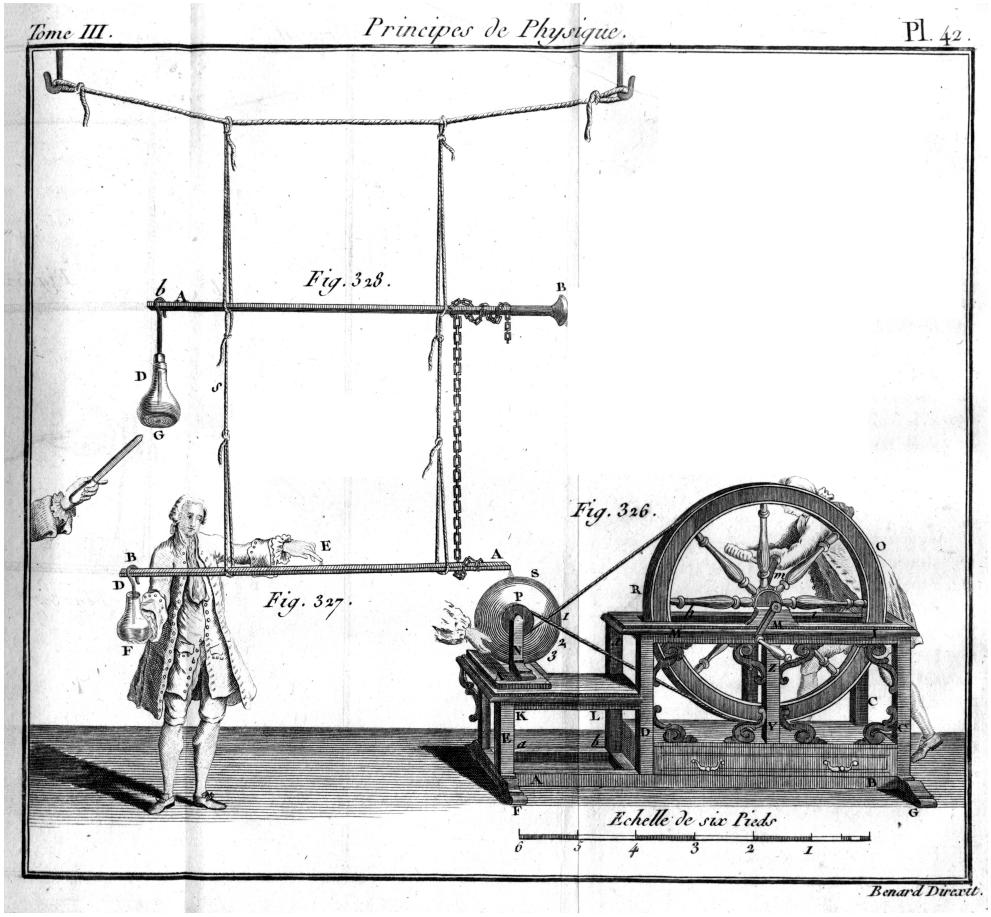


Figure 7.4:
Experimenting with the Leyden jar

Brisson 1790.

The experiment with the air-pump.[6] Killing animals by applied knowledge from natural philosophy can be seen as a demonstration of the power of the enlightened person. But it was not only animals that experienced the shocks of a Leyden jar but also humans, yet, with less severe consequences.

Actually, it became quite fashionable to let people experience the shock from a jar (not a battery though). This experience was not necessarily limited to an individual, on the contrary. In doing so, the persons involved had to form a circle by holding each other's hands, the person at one end had to hold the charged bottle in one hand. The person at the other end of the chain had to touch the wire thus closing the circuit (see Fig. 7.6). One aspect that made this experience that attractive was the possibility to enable a group of persons to make this experience collectively.

[6] For an excellent interpretation of this painting see Busch 1986.

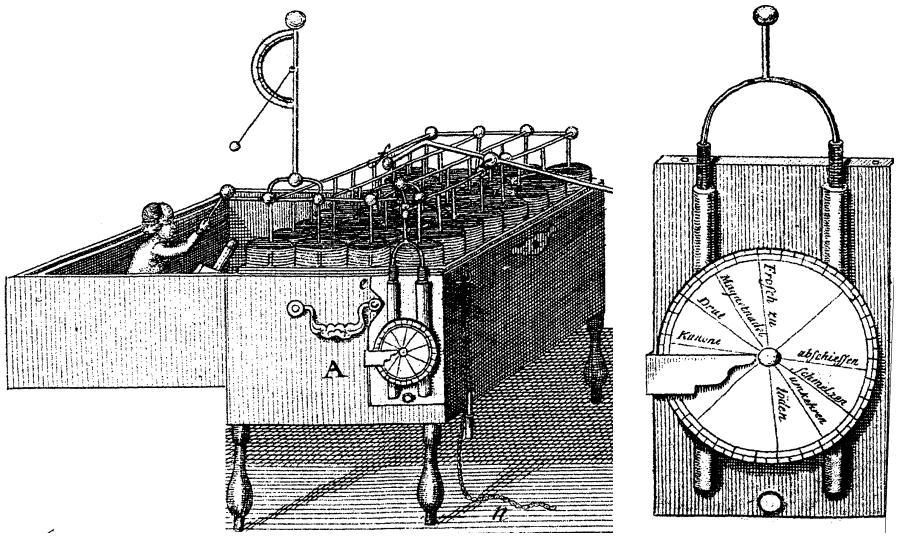


Figure 7.5:
Battery of Leyden jars (left) and detail of switch (right)
Cuthbertson 1786.

Nollet showed this experiment to the French court by discharging a Leyden jar through a group of 180 gendarmes. The king was amused, and Nollet redid the experiment with 200 Carthusians from a Paris monastry (see Heilbron 1979, 318). One aspect that is important in this respect is the meaning that could be given to such a demonstration: It can be interpreted as a demonstration of the power of natural philosophy, as the representatives of the secular and the religious power were jumping due to the action of one individual natural philosopher.

Yet, it was not only entertainment that derived from these experiments but also conceptual knowledge. It became obvious that only persons who stood in direct connection to the inner and the outer coating of the Leyden jar felt the shock, in other words; only those who closed the electrical circuit felt the shock.

However, not only experiments based on the physiological result of the discharge were carried out with the Leyden jar. Several entertainment devices were developed that used the effect of the discharge of the jar; among them discharge figures where pieces of metal foil were arranged in a manner that it became possible to read a word from the path of the sparks, if a discharge passed through them. This could serve as an example to demonstrate the experimenter's loyalty to his patron, as the example of Nollet shows who used this method to show his devotion to Louis XV (see Fig. 7.7).

Another example is the firing of cannon, an experiment already mentioned in the discussion of the Leyden battery. Here, cannon were charged with some gunpowder that was then ignited by a spark from a Leyden jar (see Fig. 7.8).

Even though quite a variety of experiments used the sparks from a Leyden jar, there were also numerous examples of demonstrations that used simply the spark generated

Figure 7.6:
Discharging a Leyden jar collectively

Jacquet de Malzet 1775.

with an electrical machine. One of the most popular ones was the electrical ignition of alcohol:

> *"To set Spirits of Wine on Fire: If some warm spirits of wine be brought in a cup, within the reach of the person standing on the stool, and he presents his finger perpendicularly down near the spirits, the spirits will immediately take fire; and, in a like manner, if the cup, provided in the apparatus, be fixed on the prime conductor (...) any one in the room, not on the stool, nor in connection with the prime conductor, by putting his finger to the spirits, as in plate, will set them on fire."*[7]

This experiment was initially carried out with a rapier, however, it became quickly known that even with a finger, persons were able to ignite liquids.

[7] Ribright 1779, 5f.

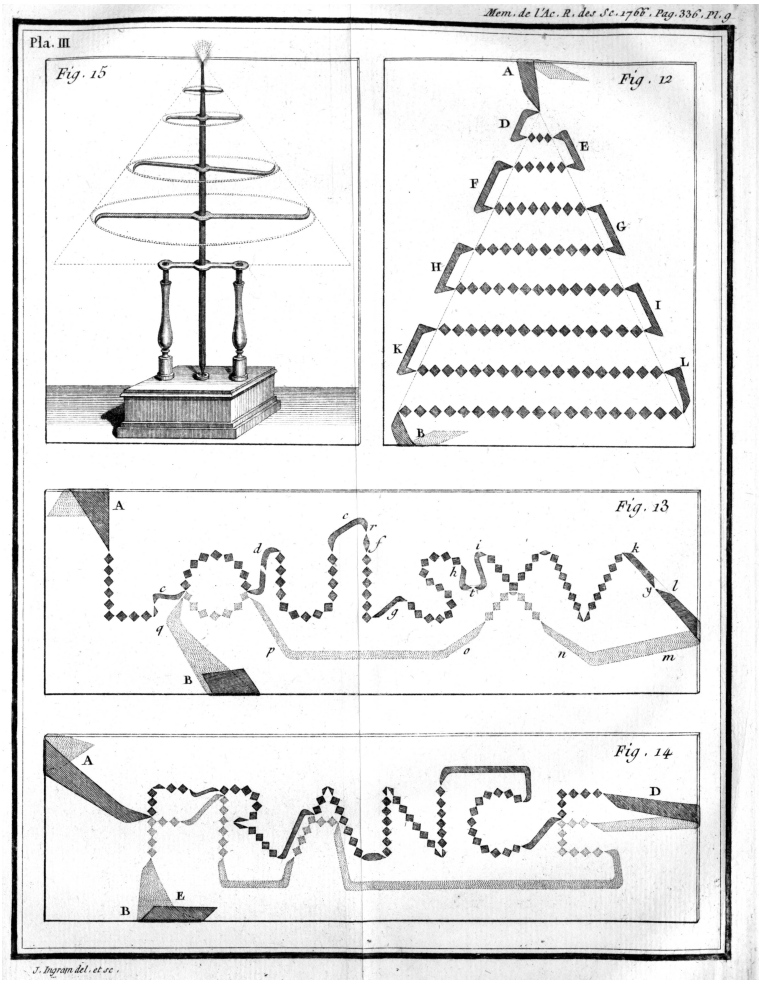


Figure 7.7:
Discharge figures

Nollet 1766.

One aspect of this experiment (and not only of this one) is its social location: As mentioned in the introduction of this paper, experimentation in this period had to take place in a specific social context. As Walters pointed out, "polite science explicitly associated the study of natural philosophy with conversation, the fundamental activity of polite society."[8] Thus, experiments were to be designed in a manner that enabled a collective experience and the staging of experiments played an important role.[9] This can also be seen from another experiment that was also very popular – the electrical kiss:

> *"Suppose the two above mentioned persons to be a gentleman and a lady. Let either of them be electrified on the glass-footed stool, whilst the other stands*

[8] Walters 1997, 126.

[9] On the public aspects of electrical experimenting in the 18^{th} century see in particular Hochadel 2003, but also Sutton 1995 and Lynn 1997.

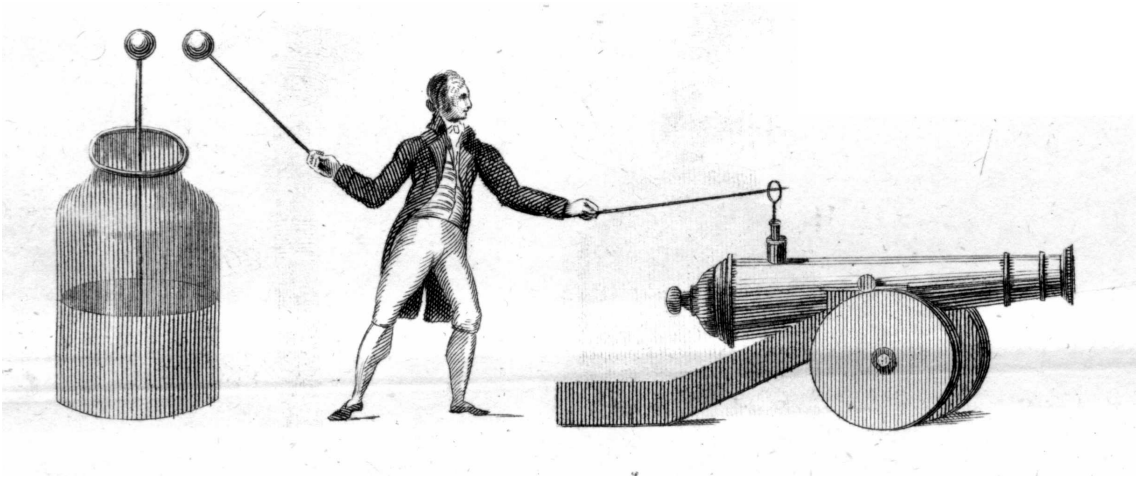


Figure 7.8:
The electric cannon

Cuthbertson 1807.

> *at a little distance on the floor, so that the clothes of the one may not touch the clothes of the other. Then, if they incline their heads, and offer to salute each other, the fire will snap from the lips of the electrified person to those of the other, and will give them both such a smart and mutual rebuff, as will make them separate without being able to accomplish their design, unless they have been apprised of the consequence before, and have resolution enough to bear the smart of the electric fire. – In this experiment nothing but the lips should touch: for, if the gentleman puts his hand upon the lady, it will draw off the fire."*[10]

This experiment was extremely popular and was carried out in different arrangements. One version was developed by the Leipzig researcher Georg Matthias Bose, who placed a young lady at the entrance of his house when he had an evening party. The (electrified) woman offered a salute kiss to the (male) visitors who were caught by surprise which served to amuse the audience. Bose himself described this event and even made a poem about the 'venus electrificata', how he called the experiment:

> *"Ein solch bezauberndes, anbetungswürdiges Kind*
> *Wird elektrifiziert, so schnell als wie der Wind [. . .]*
> *Ein aussereintzigmahl versucht ich es, und nahm*
> *Der Venus einen Kuß, doch Himmel wie bekam*
> *Mir solcher Frevel-Muth. Es schien, ein schmetternd Stechen*
> *Verdrehte fast den Mund. Die Zähne wollten brechen [. . .]*

[10] Ferguson 1770, 69f.

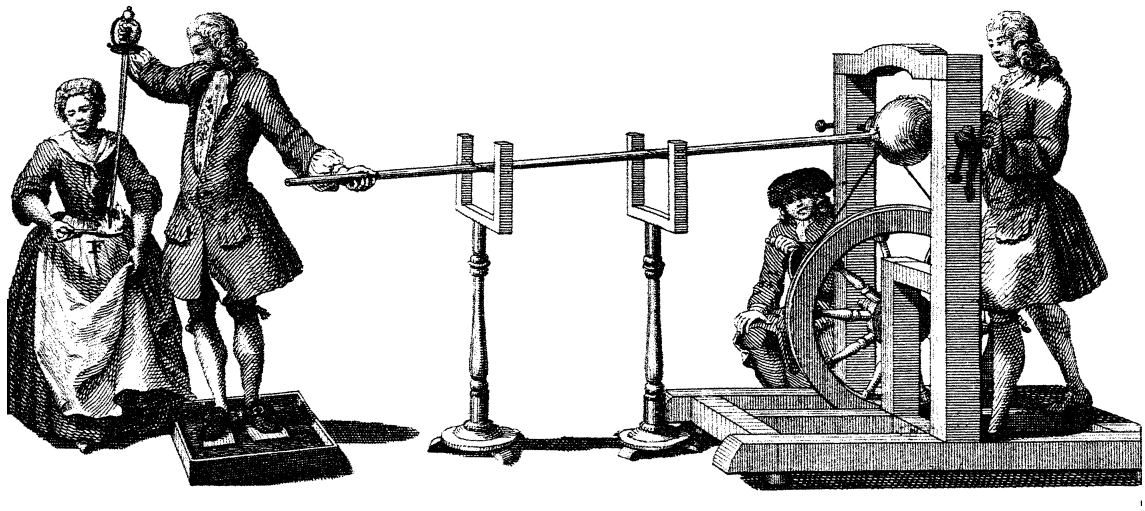


Figure 7.9:
Electrical ignition of alcohol

Desaguliers 1747.

So rast ein Zitterschmertz ihm nauf in das Gehirne.
Die Zähne beben fast. Es schmettert in der Stirne."[11]

This experiment shows a connection between electricity and sexuality which was not uncommon in the 18^{th} century, on the contrary. Several examples can be found in which such connections are made. To give just another example: Jean Paul formulated in his novel Hesperus: *'The virtue of some ladies is a thunder house, which the electrical spark of love smashes and which has to be put together again for new experiments . . . '.*

7.6 Lightning as an electrical phenomenon

Jean Paul here referred to another device that is fairly typical of 18^{th} century electrical experiments, the thunder house. This device was closely related to one of the major achievements of electrical research in the 18^{th} century – at least if one relies on printed sources: the lightning rod.[12] This device was described by Benjamin Franklin who – like other researchers before him – suspected that lightning was an electrical phenomenon,

[11] `http://www2.uni-jena.de/journal/sfb/sfb482_2.htm`, last access 27.02. 2008. Even though the poetry appears to be rather poor, it would be inadequate to translate Bose's poem. He describes that a beautiful women is electrified and that he just once tried to get a kiss from her. However, he felt a tremendous hurting; his teeth seemed to break and the pain went up into his brain. Actually, Bose's poem was in translated French, see Bose 1754 (I am indebted to Heiko Weber (Jena) for making the entire text available to me).

[12] For a detailed discussion of this device see Heering et al. 2009.

basically due to the similarity between the lightning and the electrical spark.[13] Yet, Franklin did not simply speculate on the similarity between these phenomena but proposed an experiment which should demonstrate the electrical nature of lightning. This experiment, carried out at Marly in spring 1752, became news all over Europe immediately and resulted in a lot of similar demonstrations. A drawing from the 19^{th} century (see Fig. 7.10) shows very nicely several important elements: The apparatus was basically a long metal rod that was erected and carefully insulated (as the experiment took place in France, wine bottles were used as insulation). When a thunderstorm approached, it was attempted to draw a spark out of the rod. Actually, the experiment was at first carried out by an employee who then asked the local authority – the priest – to confirm that a spark could have been drawn out of the rod.[14]

In the following years, several experiments were designed in order to demonstrate the utility of lightning rods.[15] Among them was the thunder house a very prominent one that could be carried out in different manners. Generally speaking, the thunder house was a model house that could either be protected with a grounded wire from the effects of a discharge, or which could be damaged either by igniting a fire or by causing an explosion as a result of the discharge. These devices were shown frequently even though the lightning rod was not widely accepted in the second half of the 18^{th} century. Yet, it was used as an example of the utility of the natural philosophy and electrical research in particular.

7.7 Conclusion

I have shown that certain characteristics of the experimental practice in the 18^{th} century can be identified: The experiments had an entertaining as well as either an educational or a research character. One central aspect in these experiments was the way the results were displayed: It was immediately visible; no significant prior knowledge was required to understand the experimental outcome. At the same time, these experiments were based on discharge, the experimental situation being dynamic with respect to the electrical fluid(s). This changed towards the end of the 18^{th} century particularly in France, when a static equilibrium situation became the ideal of an experiment.[16]

[13] Traditionally, lightning was understood as the ignition of inflammable gases, see e. g. Pilâtre de Rozier 1780.

[14] Note that even though the drawing seems to indicate that lightning struck the rod, this would be misleading – the rod was insulated and therefore a lightning stroke would have killed the priest. Actually this happened to the St. Petersburg professor Richmann about a year later and brought this kind of experimentation with atmospheric electricity to an end.

[15] For a detailed discussion of the historical discussions on the lightning rod see Heering et al. 2009. This device was one of two principal applications of electrical research, the other being the medical use of electricity (see Bertucci & Pancaldi 2001).

[16] On this development particularly in electricity research see Wise 1993 and Heering 1995.

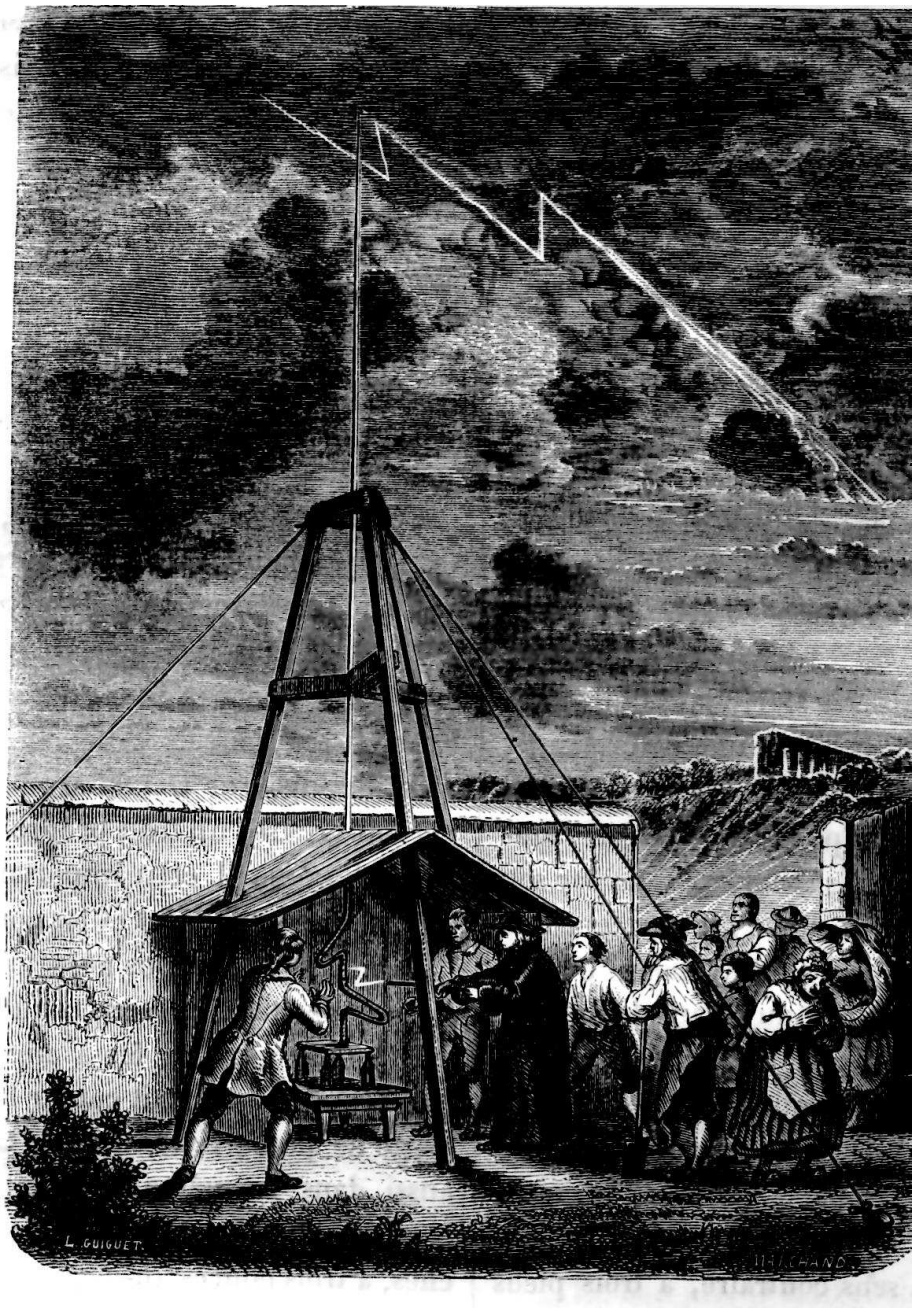


Figure 7.10:
The Marly experiment

Figuier 1867.

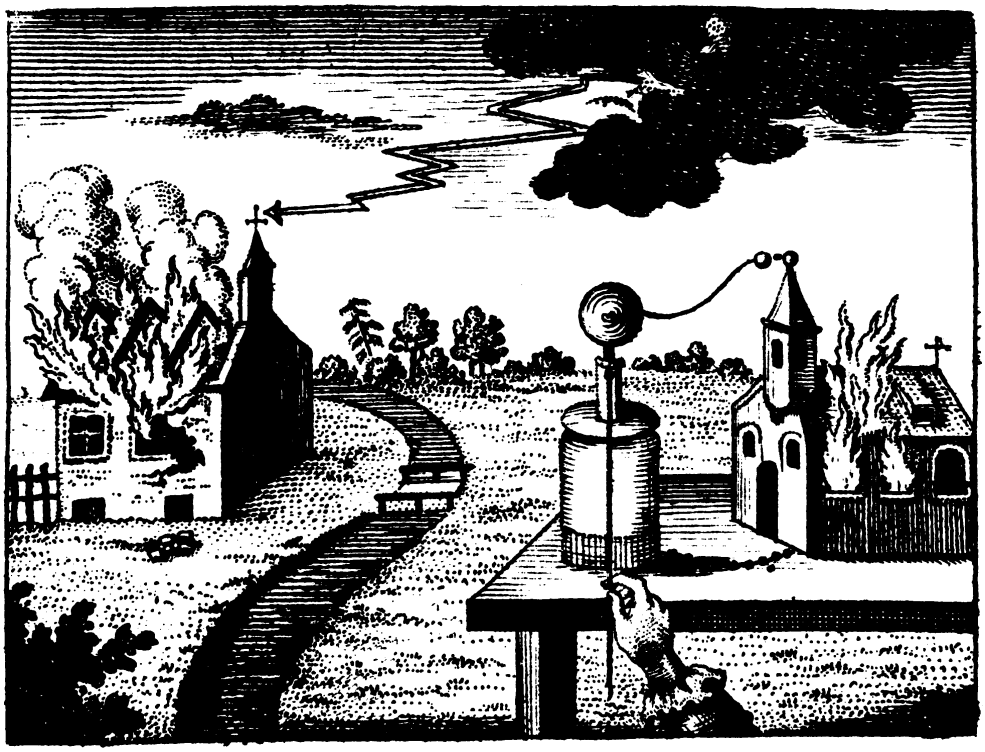


Figure 7.11:
Frontispiece of Beck 1787 showing the similarity between lightning and a discharge

Beck 1787.

References

Beck, Dominikus: *Kurzer Entwurf der Lehre von der Elektricität.* Salzburg: Hochfürstl. Akad. Waisenhausbuchhandlung 1787.

Bertucci, Paola and Giuliano Pancaldi (eds.): *Electric bodies. Episodes in the history of medical electricity.* Bologna: CIS (Bologna Studies in the History of Science 9) 2001.

Brisson, Mathurin Jacques: *Dictionnaire raisonné de toutes les parties de la physique.* Paris: Desray (Nouvelle ed.) 1790.

Bose, Georg Matthias: *L'Electricité, son origine et ses progress. Poème en deux Livres.* Leipzig: Heritiers Lankisch 1754.

Busch, Werner: *Joseph Wright of Derby Das Experiment mit der Luftpumpe: Eine Heilige Allianz zwischen Wissenschaft und Religion.* Frankfurt am Main: Fischer 1986.

Cuthbertson, John: *Abhandlung von der Elektrizität nebst einer genauen Beschreibung der dahingehörigen Werkzeuge und Versuche.* Leipzig: Schwickert 1786.

Cuthbertson, John: *Practical electricity, and galvanism, containing a series of experiments calculated for the use of those who are desirous of becoming acquainted with that branch of science, by John Cuthbertson.* London: Printed for J. Callow by T. Harper, Jun. 1807.

Desaguliers, John Théophilus: *A Course of Experimental Philosophy.* London, Vol. 1, 1734, (2nd ed.) 1745; Vol. 2, 1744.

Desaguliers, John Theophilus: *De Natuurkunde uit Ondervindingen opgemaakt. Vol. 2.* Amsterdam: Isaak Tirion 1746.

Ferguson, James: *An Introduction to Electricity in six Sections.* London: W. Strahan, W. Cadell 1770.

Hackmann, Willem D.: *Electricity from Glass: The History of the Frictional Electrical Machine 1600–1850.* Alphen aan den Rijn: Sijthoff & Noordhoff 1978.

Hausen, Christian August: *Novi Profectus in Historia Electricitatis.* Leipzig: Theodor Schwan 1743.

Heering, Peter: *Das Grundgesetz der Elektrostatik. Experimentelle Replikation, wissenschaftshistorische Analyse und didaktische Konsequenzen.* Oldenburg, Dissertation 1995.

Heering, Peter: To see or not to see. Jean Paul Marats öffentliche Experimente und ihre Analyse mit der Replikationsmethode. In: *NTM* **13** (2005), Heft 1, p. 17–32.

Heering, Peter; Hochadel, Oliver and David Rhees (eds.): *Playing with Fire: Studies on the Historical and Cultural Meaning of the Lightning Rod.* Philadelphia: American Philosophical Society 2009.

Heilbron, John L.: *Electricity in the 17th and 18th Centuries.* Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press 1979.

Hochadel, Oliver: *Öffentliche Wissenschaft: Elektrizität in der deutschen Aufklärung.* Göttingen: Wallstein 2003.

Malzet, Louis Sébastien Jacquet de: *Précis de l'électricité; ou extrait expérimental & théorétique des phénomenes électriques.* Vienne: J. T. de Trattnern 1775.

Lynn, Michael R.: *Enlightenment in the Republic of Science: The Popularization of Natural Philosophy in Eighteenth-Century Paris.* Madison: University of Wisconsin, PhD Thesis 1997.

Nollet, Jean Antoine: *Essai sur l'Électricité des Corps.* Paris: Frères Guérin 1746.

Nollet, Jean Antoine: *Application curieuse de quelques phénomènes d'électricité.* Paris 1766.

Pilâtre de Rozier, Jean François: Refléxions sur la Cause de la Foudre. In: *Observations sur la Physique, sur l'Histoire naturelle et sur les Arts* **16**, Paris 1780, p. 309–311.

Ribright, Geo. and Son: *A Curious Collection of Experiments to be performed on the Electrical Machines made by Geo. Ribright and Son.* London: J. Brown 1779.

Sutton, Geoffrey V.: *Science for a Polite Society: Gender, Culture, and the Demonstration of Enlightenment.* Boulder: Westview 1995.

Walters, Alice N.: Conversation pieces: Science and Politeness in Eighteenth-Century England. In: *History of Science* **35** (1997), p. 123–154.

Wise, M. Norton: Mediations: Enlightenment Balancing Acts, or the Technologies of Rationalism. In: Horwich, Paul (ed.): *World Changes.* Cambridge, Mass. & London: MIT 1993, p. 207–256.

Figure 8.1:
Büste von Heinrich Hertz (1857–1894), Hamburg 1982,
modelliert von der Bildhauerin Frau Karin Hertz,
einer Verwandten von Heinrich Hertz

Foto: Karin Hertz, Hamburg-Volksdorf

Heinrich Hertz between the older electrodynamics and Maxwell's theory

Karl Heinrich Wiederkehr (Hamburg)

Abstract: Heinrich Hertz zwischen der älteren Elektrodynamik und der Maxwellsschen Theorie

Zur Zeit von Heinrich Hertz konkurrierten zwei Theorien der Elektrizität und Elektrodynamik miteinander. Auf dem Festland herrschte die von Wilhelm Weber und Franz Neumann geschaffene „ältere" Elektrodynamik vor, die positive und negative elektrische Teilchen annahm. In England dagegen hing man den Faraday-Maxwellschen Vorstellungen an. Sie lehnten substantielle elektrische Teilchen ab und arbeiteten mit Feldern. Als Hertz 1878 nach Berlin kam, geriet er unter den Einfluss von Helmholtz, der ein entschiedener Gegner von Weber war und mit den Faraday-Maxwellschen Vorstellungen sympathisierte.

Hertz setzte sich mit dieser Problematik auseinander und er betrachtete die Kathodenstrahlen wie Helmholtz und andere als eine Art longitudinale Wellen im Äther – ein Irrtum, wie sich später herausstellte. In Kiel gelang es schon Hertz, die beiden Maxwellschen Gleichungen für den Äther zu formulieren. In der darauf folgenden Karlsruher Zeit machte er dann seine bahnbrechenden Entdeckungen der schnellen elektrischen Schwingungen und elektromagnetischen Wellen und schuf so die Grundlage für das heutige Kommunikationswesen. Es war der endgültige Sieg über die ältere Elektrodynamik mit ihren Fernwirkungsvorstellungen. Bis zuletzt blieb Hertz ein kompromissloser Feldphysiker. Um aber die individuellen Eigenschaften der Materie erklären zu können, nahm man in den letzten Jahren des 19. Jahrhunderts die alten, für überholt geglaubten Vorstellungen vom Wesen der Elektrizität und ihrer atomistischen Struktur wieder auf. Hendrik Antoon Lorentz entwarf seine Elektronentheorie, Joseph John Thomson entdeckte das Elektron, Eduard Riecke und Paul Drude entwarfen die Elektronentheorie der Metalle. Arnold Sommerfeld und seine Schüler knüpften im 3. Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts daran an. Es war der Beginn der Festkörperphysik.

Heinrich Hertz started his studies of physics at a time when there was an essential competition between two theories of electricity and electrodynamics. On the continent prevailed the electrodynamics created by Wilhelm Weber (1804–1891)[1] and Franz Neumann (1798–1895)[2] in the middle of the 19th century, which I will call the older electrodynamics. The British scientists on the other hand, held up the Faraday-Maxwell conception.[3] The fundamental law of the electric effects established by Weber in 1846 (and 1852),[4] briefly called Weber's law, could explain all electric phenomena known at the time. It was grounded on the works of André Marie Ampère (1775–1836). Like all other fundamental laws, as for example the law of Biot and Savart, Weber's law was a long-distance effect law. Due to it the speed of electric and magnetic effects is infinite and their propagation does not require any intermedium. Two types of material electric particles, positive and negative, were assumed which flow in a wire in electric counter currents. However, doubts about the validity of Weber's law arose, but Weber's authority was supported by his achievements to create the absolute electric measurement system, which forms the basis of our electric measurement units (SI units) of today.[5] When in 1856 Wilhelm Weber and Rudolf Kohlrausch (1809–1858) determined the relationship of charges measured electro statically and electro magnetically,[6] they discovered the speed of light. However, it has to be remarked, that only in 1861 James Clerk Maxwell (1831–1879) by reexamining their results discovered the inherent presence of the velocity of light.[7] Weber had been fixed on his constant in his law ($c_w = \sqrt{2}c_l$, c_w = Weber constant, c_l = velocity of light in vacuum). But Maxwell now received a decisive drive to establish an electro-magnetic theory of light. Michael Faraday (1791–1867) had created field physics in England at first most on a purely qualitative ground. Maxwell cast it into mathematical terms, summarized in his famous *Treatise on electricity and magnetism* of 1873. Faraday's ideas were carried by a primary concept, which he called "electrostatic induction".[8] It says that voltage induces in the conductor the so-called "distribution" along a line, a separation into positive and negative electricity in the space elements. These ideas correspond to the electric lines of force established later. According to Faraday in shortest time in a metallic conductor thus follows the so-called "communication" of electricity from one space element to another. The repetition of this process explained the electric current in the conductor, which is surrounded by circular magnetic lines of force.

Faraday started his exploration of electricity by studying Hans Christian Ørsted's (1777–1851) discovery and the work of other scientists in the field of electromagnetism (1821).[9] In my opinion Faraday was strongly influenced by the ideas of Ørsted, who

[1] Wiederkehr 1967, Assis 1994, Wolfschmidt 2005.
[2] Neumann 1845 and 1847.
[3] Maxwell 1873.
[4] Weber 1846 and 1852.
[5] Assis, Reich, Wiederkehr 2002.
[6] Kohlrausch and Weber 1856, Wiederkehr 1994.
[7] Campbell and Garnett 1884.
[8] Faraday 1839, Wiederkehr 1991.
[9] Faraday 1821.

Abbildung 8.2:
Hans Christian Ørsted (1777–1851)

Lenard 1930, S. 189.

himself was under the influence of nature-romantic thoughts and their concepts of continuum, homogeneity, heterogeneity, dualism, polarization. Ørsted also talked about a "circular electric conflict" around an electric wire. In Ørsted's *Ansichten der chemischen Naturgesetze* (1812) one may also find the concept of "electric distribution" and "communication".[10] Faraday knew this work in the French version. Maxwell then adopted Faradays field ideas and put them into mathematical terms, however in his *Treatise* of 1873 he also gave tribute to the opposing "continental" views but like Faraday he rejected the material conception of electricity and denied the existence of electric atoms.[11]

In 1878 Heinrich Hertz (1857–1894) went to Berlin, then the mekka of physics and of science in general. There he fell under the influence of Herrman von Helmholtz (1821–1894) – a determined opponent of Weber.[12] Helmholtz aimed at creating clarity in the teachings of electricity and electrodynamics. He sympathized with the Faraday-Maxwell

[10] Ørsted 1812, Wiederkehr 1990.
[11] Maxwell 1873, Article 569 and 575.
[12] Wiederkehr 2007a.

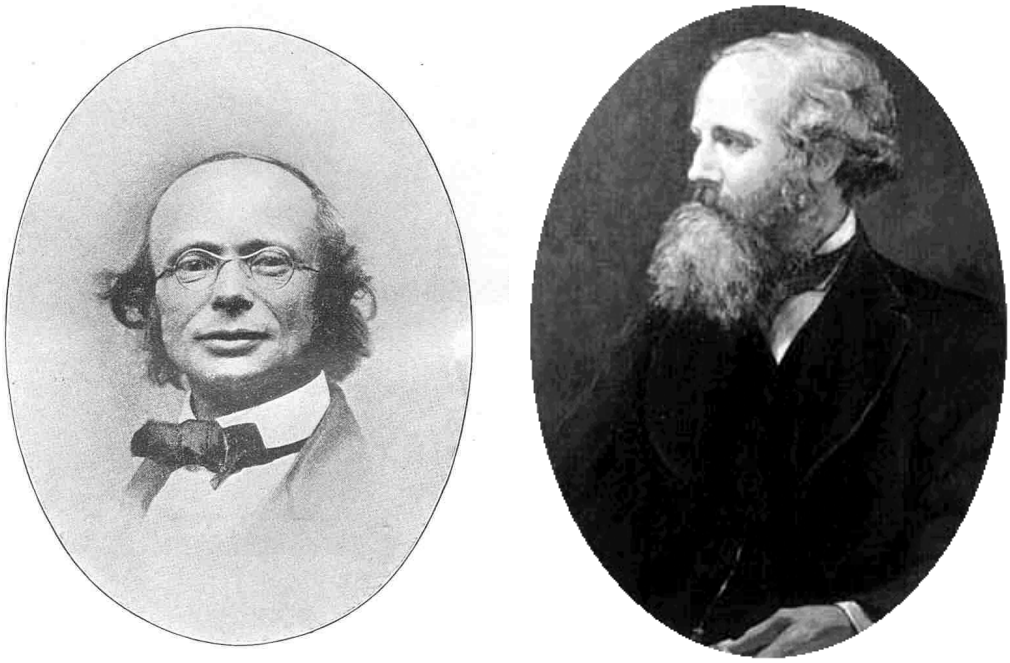


Abbildung 8.3:
Left: Wilhelm Eduard Weber (1804–1891) – Right: James Clerk Maxwell (1831–1879)

Left: Kohlrausch, Friedrich (Hrsg.): Wilhelm Weber und Rudolf Kohlrausch. Fünf Abhandlungen über absolute elektrische Strom- und Widerstandsmessung. Leipzig (Ostwalds Klassiker der exacten Wissenschaften; Nr. 142) 1904, Frontispiz.
Right: Lenard 1930, 283.

field theory but developed his own theory of electrodynamics. Hertz won a prize competition inaugurated by the philosophical faculty, about the question whether the transport of electricity along a wire is connected with a transport of mass. Hertz demonstrated that if masses were involved they had to be extremely small.[13] Contrary to the expectation of Helmholtz Hertz did not take this argument as an opportunity to lead an attack against the proponents of the "older" electrodynamics. Hertz wanted to avoid personal conflicts. Helmholtz initiated another prize competition in the academy of sciences: It asked for the demonstration of electrodynamic effects or currents inside isolators – effects that had been demanded by Faraday and Maxwell. However Hertz could not solve this problem until 1887 when he was in Karlsruhe where he could produce fast electrical oscillations with his big oscillator – which allowed to determine the displacement current or dielectric current[14].

Hertz invested much time and effort on cathode rays in Berlin. The word "Kathodenstrahlen" (cathode-rays) was coined by Eugen Goldstein (1850–1930); before this the rays were called "radiation of glowing". The opinion of Hertz on the nature of the cathode

[13] Hertz 1880 and 1881.
[14] Hertz 1887, Wiederkehr 2007b

rays was strongly influenced by Helmholtz and other physicists. In 1883 Hertz published two works about cathode rays – both appeared in volume 19 of the *Annalen der Physik und Chemie*. The second treatise with the title *Experiments on the glow discharge* is more important.[15] Hertz examined both the magnetic and the electric deflection of the rays. The rays were deflected by a magnet, like a flexible wire with current flowing through it. However, in the case of the rays the reverse effect of the rays on a mobile magnet could not be found. (Remark: The current is too small). And he regarded the magnetic deflection as the analogue (the analogous phenomenon) to the magnetic rotation of the polarisation-plane of light.

Abbildung 8.4:
Eduard Riecke (1845–1915)

Voigt, Woldemar: Eduard Riecke als Physiker.
In: *Physikalische Zeitschrift* XVI (1915), S. 219–221, Frontispiz.

In 1876 Goldstein had seen a deflection of cathode rays by a negatively charged electrode. Hertz arranged two parallel strips of charged metal foils on two sides of the rays

[15] Hertz 1883.

thus building a capacitor inside the discharge tube. But he couldn't detect any deflection of the cathode rays. Properly the tube was not evacuated thoroughly and the electric lines of force between the metal foils ended on ions of the gas. The conclusion of Hertz was: that the cathode rays are a phenomenon only accompanying the electric discharge, having nothing to do with the course of the current. In Hertz mind the concept of fast flying electric particles was disproved. In 1881 Eduard Riecke (1845–1915), successor of Wilhelm Weber in Göttingen, saw such fast moving electric particles in cathode rays and termed them "Weber's atoms".[16] In Hertz' opinion there was no close relation between the nature of cathode rays to electricity, comparable to the light of an electric lamp. He adopted the idea of Helmholtz and interpreted the rays as a wave phenomenon (presumable longitudinal waves) in the ether – a fundamental mistake. Fortunately Hertz did not qualify himself as a university lecturer in Kiel in 1883 with the work about cathode rays, (as Lenard claimed it in volume 1 of the collected works of Hertz, S. XXV.), but with an excellent mathematical work about elasto-mechanics.[17]

During his Kiel years as outside lecturer (Privatdozent) and later extraordinary professor of theoretical physics the treatise *On the relations between Maxwell's electrodynamic equations and the basic equations of the opposing electrodynamics* is outstanding.[18] Hertz treated the opposing opinions in detail and concluded that precedence had to be given to Maxwell's theory. Here he already developed the first two Maxwell's equations in its symmetrical form for the ether, or strictly speaking, for the void space. According to Planck these equations were a first rate achievement.

When in 1885 Hertz came to the Polytechnic in Karlsruhe – a year later it became a Technical University – he made the pioneering discoveries of the fast electrical oscillations and the electro-magnetic waves.[19] Central to his experimental works was the electric spark. In his theoretical works on Maxwell's theory his basic position, that physics should confine itself to purely mathematical relations of physical quantities, revealed itself. He denied the material nature of electric charges and instead interpreted the conservation of its physical quantity as the presence of a mathematical constant. As a field physicist he was much more extreme than Maxwell. Up to his last experimental publication about cathode rays passing through thin metal foils (1891) he repeated his incorrect views.[20] And, at that time, his assistant Philipp Lenard still supported this misapprehension.

Joseph John Thomson (1856–1940) carried out the due correction after the discovery of the electron in 1897.[21] Doubts had already arisen before whether Maxwell's theory alone was sufficient for the interpretation of all the individual qualities of matter. In the 1890ies the electron theory of Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928) delivered the necessary complement, by referring back to ideas of the „older" electrodynamic theory that had been believed to be out of date.[22] About the turn of the century Eduard

[16] Riecke 1881.
[17] Hertz 1881.
[18] Hertz 1884.
[19] Wiederkehr 2007b.
[20] Hertz 1892.
[21] Wiederkehr 1999.
[22] Lorentz 1895.

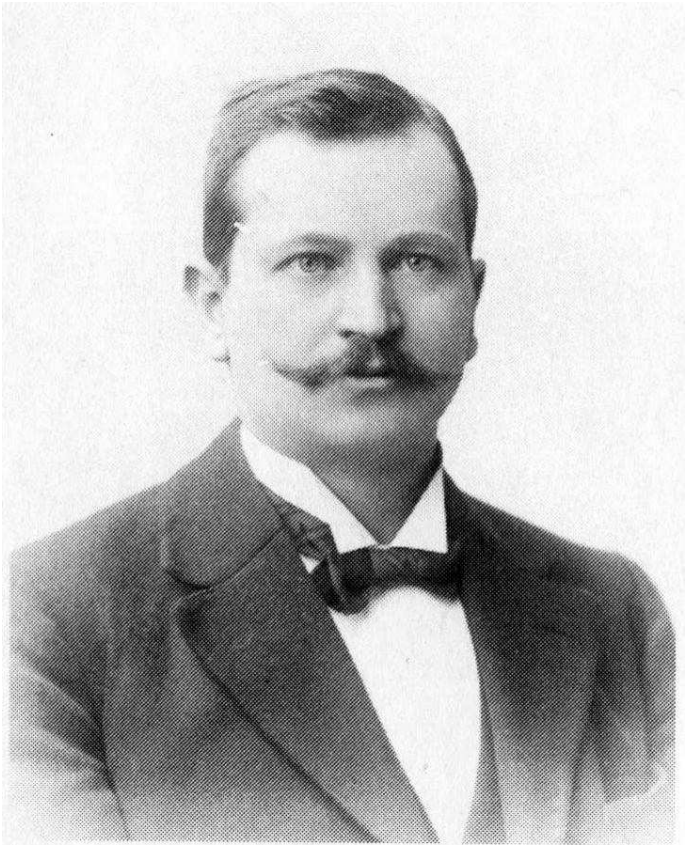


Abbildung 8.5:
Paul Drude (1863–1906)

Annalen der Physik (4) **20** (1906), Nachruf.

Riecke and Paul Drude (1863–1906) created the Electron Theory of the Metals also by returning to ideas of Wilhelm Weber.[23] The Electron Theory of Metals was completed only at the end of the twenties and the beginning of the thirties of the 20th century with the inclusion of the quantum theory and then became part of modern solid state physics.[24]

8.1 Literatur

Assis Koch Torres, Andre 1994: *Weber's Electrodynamics.* Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Assis Koch Torres, Andre; Reich, Karin und Karl Heinrich Wiederkehr 2002: Gauss and Weber's creation of the absolute system of units in physics. In: *21st Century* **15**, No. 3, p. 40–48.

[23] Riecke 1898 and Drude 1900.
[24] Sommerfeld 1927.

Campbell, L. and Garnett, W. 1884: *The Life of James Clerk Maxwell, with selections from his correspondence and occasional writings.* New Ed. London, p. 243 and 244.

Drude, Paul 1900: Zur Elektronentheorie der Metalle. In: *Annalen der Physik und Chemie*, hrsg. von P. Drude, **Bd. 1**, p. 566–613.

Faraday, Michael 1839–1854: *Experimental Researches in Electricity.* 3 Bände. London. Article No. 1165 and 1338.

Faraday, Michael 1821 and 1822: Historical Sketch of Electro-Magnetism. In: *Annals of Philosophy* N.S. II (1821), p. 195–200, 274–290, N.S. III (1822), p. 107–117.

Hertz, Heinrich 1880: *Versuche zur Feststellung einer oberen Grenze für die kinetische Energie der elektrischen Strömung.* Gesammelte Werke Bd. 1, p. 1–36.

Hertz, Heinrich 1881: *Obere Grenze für die kinetische Energie der bewegten Elektrizität.* Gesammelte Werke Bd. 1, p. 145–154.

Hertz, Heinrich 1887: *Über Induktionserscheinungen, hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren.* Gesammelte Werke Bd. 2, p. 102–109.

Hertz, Heinrich 1883: *Versuche über die Glimmentladung.* Gesammelte Werke Bd. 1, p. 242–276.

Hertz, Heinrich 1881: Über die Berührung fester elastischer Körper. In: *Journal für die reine und angewandte Mathematik* **Bd. 92**, p. 156–171.

Hertz, Heinrich 1884: *Über die Beziehung zwischen den Maxwellschen Grundgleichungen und den Grundgleichungen der gegnerischen Elektrodynamik.* Gesammelte Werke Bd. 1, p. 295–314.

Hertz, Heinrich 1892: *Über den Durchgang der Kathodenstrahlen durch dünne Metallschichten.* Gesammelte Werke Bd. 1, p. 355–359.

Kohlrausch, Rudolf und Weber, Wilhelm 1856: *Über die Elektrizitätsmenge, welche bei galvanischen Strömen durch den Querschnitt der Kette fließt.* Weber Werke, Bd. 3, p. 597–608.

Lenard, Philipp: *Große Naturforscher. Eine Geschichte der Naturforschung in Lebensbeschreibungen.* München: J. F. Lehmann's Verlag 1929, (2. vermehrte Auflage) 1930.

Lorentz, Hendrik Antoon 1895: *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern.* Leiden, bes. Einleitung p. 5.

Maxwell, James Clerk 1873: *Treatise on Electricity and Magnetism.* 2 Vols. Oxford. Deutsche Übersetzung von B. Weinstein. 2 Bde. Berlin 1883.

Neumann, Franz 1845: *Die mathematischen Gesetze der inducirten elektrischen Ströme.* Leipzig (Ostwalds Klassiker der exacten Wissenschaften; Nr. 10).

Neumann, Franz 1847: *Über ein allgemeines Princip der mathematischen Theorie inducirter elektrischer Ströme.* Leipzig (Ostwalds Klassiker der exacten Wissenschaften; Nr. 36).

Ørsted, Hans Christian 1812: *Ansicht der chemischen Naturgesetze, durch die neueren Entdeckungen gewonnen.* Berlin.

Planck, Max 1894: Gedenkrede 1894. In: *Physikalische Abhandlungen und Vorträge* Bd. 3. Braunschweig 1958, p. 278.

Riecke, Eduard 1881: Über die Bewegung eines elektrischen Teilchens in einem homogenen magnetischen Felde und das negative elektrische Glimmlicht. In: *Annalen der Physik und Chemie*, hrsg. von G. Wiedemann, N. F. **Bd. 13**, p. 191–194.

Riecke, Eduard 1898: Zur Theorie des Galvanismus und der Wärme. In: *Annalen der Physik und der Chemie*, hrsg. von G. und E. Wiedemann, **N. F. Bd. 66**, p. 353–389 und p. 545–581.

Sommerfeld, Arnold 1927: Zur Elektronentheorie der Metalle. In: *Die Naturwissenschaften* **15**, p. 825–832.

Weber, Wilhelm Werke, hrsg. von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, 1892–1894. 6 Bde. Berlin.
Bd. 3, Elektrodynamische Maassbestimmungen, insbesondere über ein allgemeines Grundgesetz der elektrischen Wirkung, (1846), p. 25–214.
Elektrodynamische Maassbestimmungen, insbesondere Widerstandsmessungen (1852), Bd. 3, p. 301–471, bes. p. 401–405.

Wiederkehr, Karl Heinrich 1967: Wilhelm Weber. *Erforscher der Wellenbewegung und der Elektrizität 1804–1891.* Hrsg. von H. Degen. Stuttgart (Große Naturforscher; Bd. 32).

Wiederkehr, Karl Heinrich 1994: Wilhelm Weber und Maxwells elektromagnetische Lichttheorie. In: *Gesnerus, Swiss Journal of the History of Medicine and Sciences*, **Vol. 51**, Part 3/4, p. 256–267.

Wiederkehr, Karl Heinrich 1991: Faradays Feldkonzept und Hans Christian Ørsted. In: *Physikalische Blätter* **47**, Nr. 9, p. 825–830.

Wiederkehr, Karl Heinrich 1990: Ørsteds Ansicht der chemischen Naturgesetze (1812) und seine philosophischen Betrachtungen über Elektrizität und Magnetismus. In: *Gesnerus* **Vol. 47**, Part. 2, p. 161–183.

Wiederkehr, Karl Heinrich 2007: Heinrich Hertz (1857–1894) – Leben und Werk. In: Wolfschmidt 2007, p. 61–67.

Wiederkehr, Karl Heinrich 2007: Die Karlsruher Experimente (1886–1888) von Heinrich Hertz. In: Wolfschmidt 2007, p. 69–75.

Wiederkehr, Karl Heinrich 1999: Die Entdeckung des Elektrons. In: Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) **Jg. 52**, H. 3, p. 132–139.

Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.) 2005: *Vom Magnetismus zur Elektrodynamik.* Herausgegeben anläßlich des 200. Geburtstages von Wilhelm Weber (1804–1891) und des 150. Todestages von Carl Friedrich Gauß (1777–1855). Hamburg.

Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.) 2007: *Von Hertz zum Handy – Entwicklung der Kommunikation.* Norderstedt: Books on Demand (Nuncius Hamburgensis – Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften; Bd. 6).

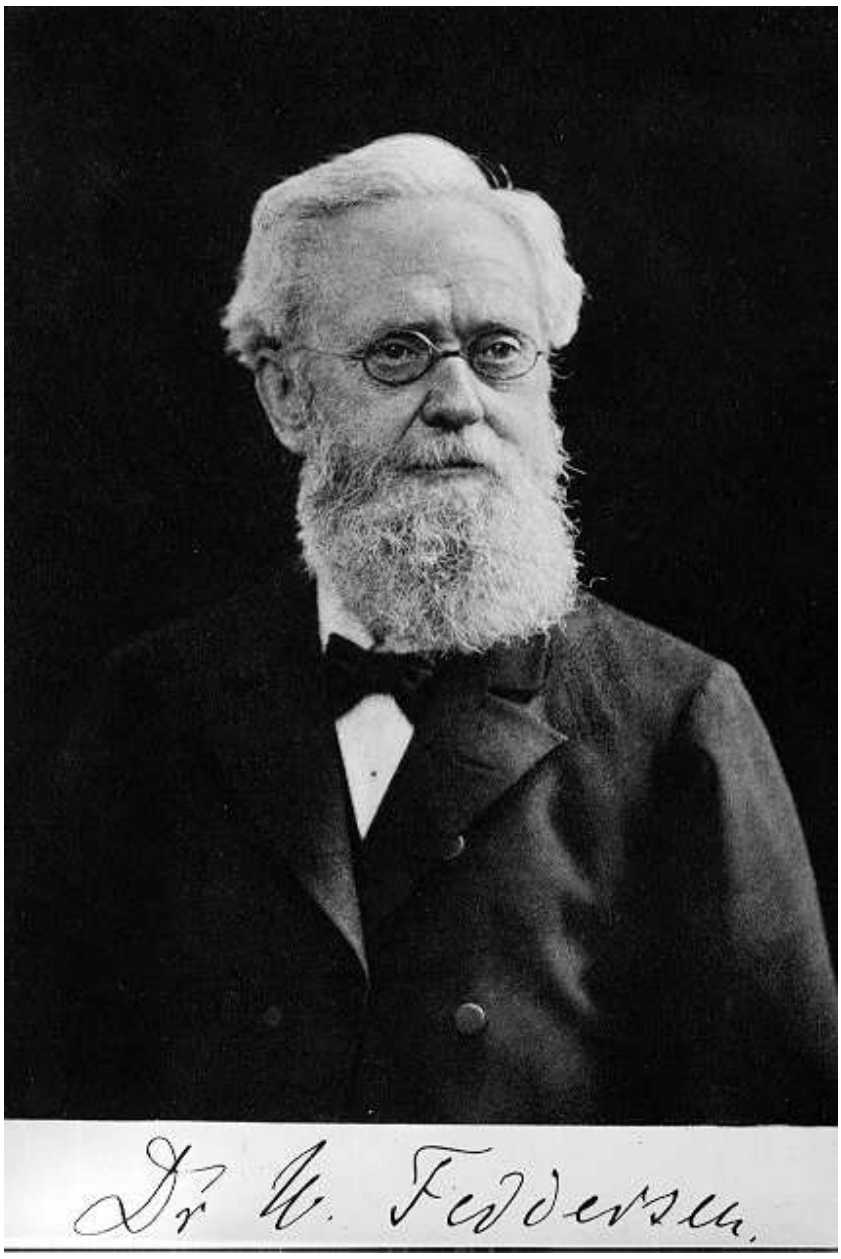


Figure 9.1:
Berend Wilhelm Feddersen (1832–1918)

Feddersen (1908).

Ende 1910 – 50 Jahre nach seinen Untersuchungen – führte Feddersen einen interessanten Schriftwechsel mit europäischen Fachleuten über den Beitrag von Hertz zur Entwicklung der Elektrodynamik. Diese „Hertz-Kontroverse"' ist in zweierlei Hinsicht wissenschaftshistorisch interessant: Zum einen zeigt sie den Versuch einer Einordnung der Hertzschen Arbeiten durch zeitgenössische Fachleute. Zum anderen ist sie aber auch ein Beispiel dafür, wie ein Wissenschaftler aus der „zweiten Reihe"' versucht, seine Stellung innerhalb seiner Disziplin zu verfestigen und dem Vergessen entgegenzuwirken.

Berend Wilhelm Feddersen und die Hertz-Kontroverse

Martin Henke (Hamburg)

Abstract: Berend Wilhelm Feddersen (1832–1918) and the "Hertz – Controversy"

Berend Wilhelm Feddersen is one of the pioneers of electrodynamics. Born in 1832 he studied Philosophy in Göttingen, Berlin and Kiel and completed 1857 his final thesis about the electrical discharge of Leidner bottles. On this subject he worked in the following five years. In 1862 he showed with a very sophisticated experiment that under certain conditions the current is not directly discharged as believed but it oscillates. After this discovery he stopped working on this matter and lived as a private man until he died in 1918 at the age of 86. As one of the early pioneers he experienced the impact of electrodymanic inventions which were connected to names like Hertz, Marconi, Branly but not to Feddersen.

When in 1909 the *Kieler Nachrichten* published a dedication article for Feddersen's experiment they stated that it was Hertz, who had laid the foundation for wireless communication. Feddersen was really embarrassed. He immediately published a return saying that it was not Hertz but Branly, Marconi and himself who founded this discipline. To justify his view Feddersen initiated an international correspondence with several European experts. In letters to Chwolson (Russia), Bäcklund (Sweden), Branly (France), Bosscha (Netherlands), Zehnder (Swizzerland) and Zenneck (Germany) he asked for their view on the development of electrodynamics and who had given which impact. Their responses were quite heterogeneous: some saw Hertz without any doubt as founder, some fully deny this view. But the general opinion was that it is impossible to justify who the major contributor was. The evolution of electrodynamics was driven by different heads and their ideas and could only emerge in cooperation.

9.1 Einleitung

Die Elektrodynamik, auf die Hertz zweifelsohne maßgeblichen Einfluß hatte, wurde von einer Vielzahl von Wissenschaftlern vorangetrieben. Zu einem der weniger bekannten

zählt Berend Wilhelm Feddersen (1832–1918).[1] 1832 in Schleswig geboren, studierte Feddersen von 1852 bis 1857 Philosophie in Göttingen, Berlin und Kiel und schloss sein Studium mit einer Arbeit über die Entladung von Leidener Flaschen ab. In den folgenden fünf Jahren veröffentlichte er verschiedene Publikationen zu diesem Thema. 1862 wies er mit einem sehr aufwendigen Versuchsaufbau nach, daß unter bestimmten Bedingungen der Entladestrom oszilliert und nicht wie bis dato angenommen mit einer direkten Entladung vonstatten geht. Seine Arbeiten liegen also zeitlich etwa eine Generation vor denen von Hertz.

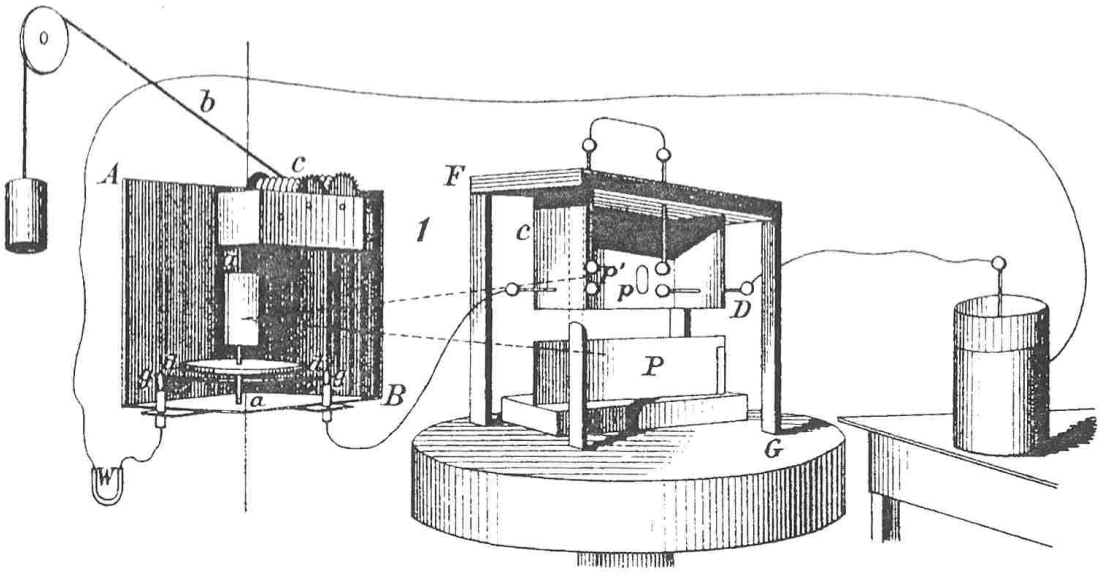


Abbildung 9.2:
Feddersens Apparatur zum Nachweis der Existenz elektrischer Schwingungen mit Hilfe „oszillierender Entladungen“ (1861)

Feddersen (1861).

9.2 Die Hertz-Kontroverse

1909 lagen Feddersens Arbeiten auf dem Gebiet der Elektrophysik fast fünfzig Jahre zurück. Fünfzig Jahre, in denen die Elektrodynamik gewaltige Fortschritte gemacht hatte und deren Entwicklungen mittlerweile das alltägliche Leben der Menschen in starkem Maße beeinflußten.[2] Der Fortschritt wurde mit den Namen von Heinrich Hertz (1857–1894), Guglielmo Marconi (1874–1937), James Clark Maxwell (1831–1879) und Édouard

[1] Für detaillierte Angaben zur Biographie Feddersens siehe Henke (2000), S. 17–42.
[2] So wurde beispielsweise 1907 der regelmäßige Telegrafendienst über den Atlantik aufgenommen. Siehe König / Weber (1990), S. 515.

Eugène Branly (1844–1940) in Verbindung gebracht. Die Arbeiten von Feddersen kannten wohl nur wirklich Involvierte. Mit seinen 77 Jahren war Feddersen ein ständiger Beobachter dieser Entwicklung. Er, der in der Frühzeit der Elektrodynamik experimentelle Maßstäbe gesetzt hatte, war nach und nach in Vergessenheit geraten. Welche Position Feddersen sich selbst in der Entwicklung der Elektrodynamik zuschrieb und wie er versuchte, seine Sichtweise zu untermauern, wird sehr deutlich in der „Hertz-Kontroverse".[3]

9.2.1 Die Kieler Zeitung

Ausgangspunkt der Kontroverse war ein kleiner Artikel, der am 28. Dezember 1909 in der *Kieler Zeitung* unter der Rubrik „Buntes Feuilleton" erschien:

> „**Aus der Geschichte der Elektrizität**.
> *In diesem Monat sind 50 Jahre vergangen, seitdem Dr. Wilhelm Feddersen, in Leipzig, ein geborener Schleswiger, die Entdeckung machte, daß die Entladung einer Elektrizitätsmenge nicht, wie man bis dahin annahm, aus einem raschen aber kontinuierlichen Abfließen der Ladung besteht, sondern daß unter Umständen ein Hin- und Herpendeln der Elektrizität eintritt. Diese Entdeckung entspricht der von dem leider so früh verstorbenen Heinrich Hertz (Privatdozent der Physik in Kiel 1881, gestorben in Hamburg 1894) begründeten Theorie der elektrischen Wellenbewegung. Auf den von Hertz festgestellten Gesetzen beruht die drahtlose Telegraphie."*[4]

Daß Feddersen mit dieser Würdigung seiner Arbeit absolut nicht zufrieden war, brachte er in einer Erwiderung auf diesen Artikel drei Tage später in der gleichen Zeitung zu Ausdruck:

> „**W. F. Zur Entstehung der Telegraphie ohne Draht**.
> *Aus Leipzig wird uns geschrieben: Im Bunten Feuilleton von Nr. 25629 steht ein Artikel „Aus der Geschichte der Elektrizität", wonach man anzunehmen versucht wird, daß Heinrich Hertz der Begründer der Telegraphie ohne Draht gewesen sei. Das ist jedoch nicht der Fall. So schön auch seine Versuche über Spiegelung, Brechung und Polarisation der elektrischen Wellen waren und so sehr dieselben auch im Verein mit seinen theoretischen Arbeiten die Wissenschaft förderten, so haben sie die Telegraphie ohne Draht doch nicht hervorzubringen vermocht. Die Ausbreitung elektrischer Bewegung im Raume war ja auch nach der Entdeckung der elektrischen Induktion durch den Engländer Faraday im Jahre 1831 schon längst bekannt und gegeben. Aber es hatte an einem Mittel gefehlt, sowohl die kürzeren Wellen von Hertz, als auch die jetzt mehr in Aufnahme gekommenen längeren Wellen von Feddersen auf größere Entfernungen zu beobachten. Dieses Mittel ist erst von Professor Branly in*

[3] Henke (2000), S. 173ff.
[4] Kieler Zeitung (1909a).

> *Paris gefunden. Er fand, daß durch eine Glasröhre, die mit Schrauben, Kugeln oder Eisenspähnen lose angefüllt ist, wenn diese Spähne in einen elektrischen Stromkreis eingeschaltet werden, keine Elektrizität hindurchgeht, daß aber äußerst kleine elektrische Schwankungen selbst aus großer Ferne hinreichen, die Spähne leitend zu machen, und daß sie diese Leitfähigkeit erst wieder verlieren, wenn man die Röhre schüttelt. Diese Röhre wurde Cohärer genannt. Marconi benutzte diese Eigenschaft des Cohärers auf sinnreiche Weise, indem er den durch die elektrischen Wellen in Tätigkeit gesetzten Strom anwendete, um die Röhren zu schütteln und sie damit in den ursprünglichen Zustand zu versetzen. Damit war die Telegraphie ohne Draht geboren. Es wurden später noch andere, z. T. bessere Detektoren als Branlys Cohärer erfunden, aber letzterer bildete doch das Fundament aller späteren Methoden. Will man einen Begründer der Telegraphie ohne Draht namhaft machen, so muß man in erster Linie den Franzosen Branly und in zweiter den Italiener Marconi nennen. Dies zur Steuer der Wahrheit.“*[5]

Die Artikel in der Kieler Zeitung lösten einen regen Briefwechsel aus. Über diese Veröffentlichungen in einer Regionalzeitung hinaus, sandte Feddersen dem Berliner Professor Karl Georg Christian Bernhard Strecker (1858–1934) einen Brief, in dem er diesem seine Sicht der Dinge persönlich schilderte.[6] Strecker war Professor für Physik in Berlin und Berater des Reichspostamtes. In dieser Funktion hatte er maßgeblichen Einfluß auf den offiziellen Standpunkt des Reichspostamtes hinsichtlich der Frage nach der Urheberschaft der aufkommenden Rundfunktechnik. Vor diesem Hintergrund ging es nicht mehr nur um einen rein akademischen Disput. Mit dem Schreiben an den „vortragenden Rat im Reichspostamt“[7] gewann die Frage an öffentlichem Interesse und erhielt eine schon fast politische Dimension. Es lag also nahe, daß Feddersen auf dem Wege über Strecker seiner Ansicht Geltung verschaffen wollte. Eine Antwort Streckers auf Feddersen Schreiben ist nicht im Nachlaß enthalten. Der Inhalt läßt sich dennoch gut rekonstruieren, da Feddersen ihn sowohl in seinem Schreiben an Zenneck[8] als auch an Chwolson[9] zitiert. Strecker behauptete,

> *„dass Hertz das ganze Fundament, Branly etwa, um im Bilde zu bleiben, die Haustür“ zur drahtlosen Telegraphie geliefert habe. „Der wahre Erfinder [. . .] ist Marconi.“*[10]

Wieder wurde Hertz die maßgebliche Urheberschaft an der drahtlosen Telegraphie zugeschrieben. Feddersen, dem diese Sichtweise überhaupt nicht behagte, wandte sich in

[5] Kieler Zeitung (1909b).
[6] Dieser Brief selber ist nicht erhalten. Es finden sich allerdings zwei Hinweise darauf. Zum einen verwies Feddersen in seinem Brief an Chwolson, 24. Februar 1910 und zum anderen in seinem Brief an Zenneck, 28. Februar 1910 darauf.
[7] Feddersen an Zenneck, 18. Februar 1910.
[8] Feddersen an Zenneck, 18. Februar 1910.
[9] Feddersen an Chwolson, 24. Februar 1910 (als Kopie im Brief von Feddersen an Zenneck, 4. März 1910 enthalten).
[10] Feddersen an Zenneck, 18. Februar 1910.

einem weiteren Schreiben erneut an Strecker und erläuterte ihm seine Ansicht über die Urheberschaft der drahtlosen Telegraphie:

> *„Sie werden es mir vielleicht zu Gute halten, wenn ich gewissermassen mit dem Faraday'schen Vorstellungen aufgewachsen, mich ihrer mit Vorliebe bei der Betrachtung von Vorgängen bei der Telegraphie ohne Draht bediene, natürlich soweit diese Vorstellungen nicht mit den Tatsachen in offenbaren Widerspruch stehen.“*[11]

Im weiteren fuhr er fort, daß die drahtlose Telegraphie vollständig durch die elektrodynamische Induktion erklärt werden konnte. Zur Frage der Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Impulse äußerte sich Feddersen so:

> *„Dass ein elektrischer Effekt sich mit enormer Geschwindigkeit überträgt, wusste man durch die verschiedenen Experimente schon lange und für die gewöhnliche drahtlose Telegraphie ist es bei unseren irdischen Verhältnissen gleichgültig, ob ein elektrischer Impuls diese, oder die Lichtgeschwindigkeit, oder die von Wheatstone gefundene, oder die Gravitationsgeschwindigkeit bei seiner Fortpflanzung besitzt.“*[12]

Diese Darstellung fand bei Strecker überhaupt keine Resonanz. Strecker antwortete nicht:

> *„Auf meine bescheidenen Einwendungen hat er nicht reagiert, [. . .].“*[13]

Damit war klar, daß Feddersens Standpunkt nicht von Strecker berücksichtigt wurde und von offizieller Seite im Reichspostamt weiterhin Hertz als Begründer der drahtlosen Telegraphie angesehen wurde. Feddersen war mit seiner Initiative gescheitert. Diese vermeintliche Niederlage führte aber nicht zu einem Rückzug aus der Kontroverse. Vielmehr bemühte sich der zu diesem Zeitpunkt bereits 77jährige Feddersen verstärkt um eine Fortsetzung des Disputs, woraus ersichtlich wird, wie wichtig ihm diese Angelegenheit war.

Es kann nur darüber spekuliert werden, warum Feddersen diese Angelegenheit mit einer derartigen Energie vorantrieb. Die Frage der Urheberschaft einer technischen Errungenschaft kann vom Standpunkt des Physikers aus betrachtet, lediglich eine akademische sein. Die Art und Weise wie Feddersen die Debatte forcierte, läßt darauf schließen, daß es neben der akademischen Klärung der Fragestellung noch auf etwas anderes ankam. Man kann in seinen Briefen den Unmut über die mangelnde Würdigung durch seine jungen Kollegen sehen. Wenn er von einem „hochfahrenden Ton“[14] oder von einem „etwas confusen Schreiben“[15] seines vermeidlichen Gegenspielers Strecker spricht, so ist darin auch der verletzte Stolz Feddersens zu erkennen. Verletzter Stolz und die mangelnde Würdigung seiner Verdienste wird ebenfalls in einem Nachsatz deutlich, mit dem er einen Brief an Zenneck abschloß:

[11] Feddersen an Strecker (als Kopie im Brief von Feddersen an Zenneck, 4. März 1910 vorhanden).
[12] Feddersen an Strecker (als Kopie im Brief von Feddersen an Zenneck, 4. März 1910 vorhanden).
[13] Feddersen an Zenneck, 18. Februar 1910.
[14] Feddersen an Zenneck, 18. Februar 1910.
[15] Feddersen an Chwolson, 24. Februar 1910. (Als Kopie im Zenneck Nachlaß erhalten).

„Ihr ergebener
W. Feddersen
Dr. phil. und ord. Mitglied der Kön. Sächs. Ges. d. Wiss.
aber nur Privatdozent und nicht Professor“[16]

Hier zeigt sich ganz deutlich die Frustration über die mangelnde Wertschätzung, die ihm als 77jährigen durch seine jüngeren Kollegen widerfuhr.

9.2.2 Die Ausländer

Den Mangel an Wertschätzung durch einheimische Kollegen versuchte Feddersen durch die Aussagen anerkannter Wissenschaftler des benachbarten Auslandes zu kompensieren. Als Reaktion auf die Nichtbeantwortung Streckers initiierte er einen Briefwechsel, den er seinen Adressaten so erläuterte:

> *„Es existiert nämlich eine Coterie von Physikern und Technikern, die ziemlich weit verbreitet, besonders wohl aber in Berlin ihren Sitz zu haben scheint, und die (gewiss in gutem Glauben) Heinrich Hertz als Begründer der Telegraphie ohne Draht verherrlicht. [. . .]. Es war vielleicht töricht von mir, mich in derselben Zeitung dagegen aufzulehnen, denn ich habe damit, wie es scheint, den Unwillen jener mächtigen Coterie mir zugezogen, deren Einflussreichster vielleicht Professor Strecker, Geh. Oberpostrat und vortragender Rat im Reichspostamt ist, [. . .]. Zur Bekräftigung meiner Auffassung dachte ich, falls sie richtig sei, die Meinung ausländischer Gelehrter von hervorragender Stellung verwerten zu können.“*[17]

Im Nachlaß Feddersens finden sich die Antwortschreiben fünf „ausländischer Gelehrter“. Neben den schon zitierten Chwolson aus St. Petersburg (Rußland) findet man die Briefe von vier weiteren Absendern, die offensichtlich von Feddersen um eine Stellungnahme gebeten wurden. Es waren dies: Bosscha aus Leiden (Niederlande), Bäcklund aus Lund (Schweden), Branly aus Paris (Frankreich) und Zehnder aus Basel (Schweiz). Außerdem befaßte sich der Briefwechsel mit Zenneck ebenfalls mit dieser Thematik.

9.2.3 Branly

Das erste Antwortschreiben erhielt Feddersen von Branly.
Branly wurde 1844 in Amiens (Frankreich) geboren.[18] 1865 beendete er sein Studium der Naturwissenschaften an der Sorbonne in Paris. 1876 wurde er Professor für Physik an der Katholischen Universität von Paris, wo er 1882 zum Dr. med. promoviert wurde.[19] Obwohl er hauptsächlich das Gebiet der Elektrotherapie erforschte, hinterließ er

[16] Feddersen an Zenneck, 18. Februar 1910.
[17] Feddersen an Chwolson, 24. Februar 1910. (Diesen Brief fügte Feddersen seinem Schreiben an Zenneck, 4. März 1910 bei).
[18] Poggendorff, Band 5 (1926).
[19] Debus (1968), S. 232.

den nachhaltigsten Eindruck durch die Erfindung des „Kohärers“ im Jahre 1890. Der Kohärer war eine mit Eisenspäne gefüllte Glasröhre, die normalerweise elektrisch nichtleitend war. Setzte man den Kohärer allerdings einer elektrischen Welle aus, so wurde er leitend. Der Kohärer reagierte sehr viel empfindlicher als der von Hertz benutzte Dipol. Marconi entwickelte den Kohärer weiter und setzte ihn als Empfänger für kommerzielle Funkstrecken ein.[20]

In seiner zweiseitigen Antwort an Feddersen bestätigte Branly in wesentlichen Zügen die Ansicht Feddersens und betonte die Rolle, die Feddersen in der Entwicklung der drahtlosen Telegraphie gespielt hatte.[21] Nach Ansicht Branlys hatte Feddersen als erster die oszillatorische Entladung und damit die elektrischen Wellen nachgewiesen. Der Versuch von Hertz wiederholte und bestätigte die Erkenntnisse von Feddersen. Die Leistung von Hertz war es, die Resonanz zwischen zwei benachbarten Stromkreisen nachzuweisen. Branly bestätigte also die experimentelle Verbundenheit zwischen den Versuchen von Hertz und Feddersen. Die Wechselwirkung zwischen zwei Stromkreisen war allerdings eine Erkenntnis, die von Hertz erbracht wurde und nicht von Michael Faraday (1791–1867). Mit dieser Sichtweise distanzierte sich Branly teilweise vom Standpunkt Feddersens. Das bedeutete aber, daß es für Feddersen nicht die erhoffte Unterstützung von Branly gab.

Daß Branly allerdings für die Initiative Feddersens Verständnis hatte, beschrieb er im weiteren Verlauf seines Briefes:

> *„On néglige trop ceux qui ouvrent une voie nouvelle, cependant le plus difficile est de lancer la 1^{e} idée; l'expérience montre que c'est généralement une besogne ingrate.“*[22]

9.2.4 Zehnder

Vierzehn Tage nach der Stellungnahme von Branly erhielt Feddersen die Antworten von Zehnder.

Zehnder wurde 1854 in Illnau bei Zürich geboren. Nach der Beendigung seines Maschinenbaustudiums in Zürich gründete er zunächst 1880 eine eigene Firma. Von 1885 bis 1888 studierte er in Berlin und Giessen Physik. Nach dem Ende seines Studiums war er in verschiedenen Positionen in Deutschland und der Schweiz tätig.[23] Von 1904 bis 1914 leitete er das physikalische Praktikum am Reichspostamt in Berlin.[24] In diese Zeit fiel auch der Briefwechsel mit Feddersen.

Im Unterschied zum Schreiben von Branly fand Feddersen in Zehnder einen hundertprozentigen Befürworter seiner Ansichten. Zehnder schrieb,

[20] Blondel (1998).
[21] Branly an Feddersen, 3. Februar 1910.
[22] *„Man vernachlässigt zu sehr diejenigen, die eine neue Richtung einschlagen. Die größte Schwierigkeit ist jedoch, die erste Idee zu entwickeln; die Erfahrung zeigt, daß es allgemein eine undankbare Aufgabe ist.“* Branly an Feddersen, 3. Februar 1910.
[23] Nauck (1956), S. 111.
[24] Poggendorff, Band 4 (1904).

> *„daß die bei der drahtlosen Telegraphie verwendeten elektrischen Wellen eigentlich, seit erfolgreich mit ihnen gearbeitet wird, Leidener Flaschen entnommen werden und daß sie daher die Schwingungen liefern und die Wellen sind, die Sie seinerzeit entdeckten.“*[25]

Der Nutzen von Hertz für die drahtlose Telegraphie lag nach Ansicht Zehnders im Aufschwung, den seine Arbeiten mit sich brachten.

Insoweit decken sich also die Aussagen von Zehnder und Branly hinsichtlich der Stellung von Feddersen und Hertz innerhalb der drahtlosen Telegraphie. Als Konsequenz aus dieser Darstellung ging Zehnder allerdings noch einen Schritt weiter und formulierte:

> *„Aber recht finde ich es doch nicht, wenn bei der drahtlosen Telegraphie immer von Hertzschen Wellen gesprochen wird, oder von Hertzschen Schwingungen. Eigentlich handelt es sich denn in den gegenwärtigen Ausführungen doch immer um Feddersche [sic] Schwingungen!“*[26]

Diese Aussage bekräftigte er dann auch gleich noch mit einem stichhaltigen Argument:

> *„Hätte Hertz die Bedeutung seiner Wellen für die drahtlose Telegraphie erkannt und Patente darauf genommen, die heutigen Großfirmen für drahtlose Telegraphie hätten, als Nichtpatentinhaber, sogleich die Nichtigkeit der Patente aufgrund der Fedderschen [sic] Schwingungen beantragt!“*[27]

In einem zweiten Schreiben sandte Zehnder Feddersen die Kopie des Strecker-Briefes zurück und schlug erneut die Bezeichnung „Feddersche Schwingung“ vor.[28]

Die Briefe Zehnders stellen eine einzigartige Würdigung der Feddersenschen Arbeiten dar. In keinem anderen erhaltenen Brief äußert sich der Absender in ähnlich anerkennender Weise über die Leistungen Feddersens.

9.2.5 Bosscha

Als dritter Briefpartner antwortete Bosscha.

Im Vergleich zu den anderen Briefpartnern, stammte Bosscha aus der gleichen Generation wie Feddersen. Bosscha wurde 1831 in Breda (Niederlande) geboren. Er studierte in Delft und Leiden. 1854 promovierte er. Nach verschiedenen anderen Stellungen wurde er 1878 Direktor der Polytechnischen Schule in Delft. Von 1885 bis 1909 war er Sekretär der Niederländischen Gesellschaft der Wissenschaften in Haarlem. Von 1900 bis 1907 war er zusätzlich Kurator der Universität in Leiden.[29]

Im Februar 1910 nahm Bosscha zur Anfrage Feddersens Stellung.[30] Der vierseitige Brief war die umfangreichste Reaktion in der angefachten Diskussion. Bosscha nahm

[25] Zehnder an Feddersen, 17. Februar 1910.
[26] Zehnder an Feddersen, 17. Februar 1910.
[27] Zehnder an Feddersen, 17. Februar 1910.
[28] Zehnder an Feddersen, 3. März 1910.
[29] Charité (1979), S. 79.
[30] Bosscha an Feddersen, 26. Februar 1910.

für sich eine Sonderstellung in der Beantwortung der Frage ein, da er die vergangenen fünfzig Jahre der Entwicklung persönlich mitverfolgen konnte und sich dadurch eine von jüngeren Kollegen abweichende Sichtweise gebildet hatte.

Zunächst stimmte er mit Feddersens Ansicht über die Stellung Faradays überein. Seiner Ansicht nach ließen sich die Erscheinungen der drahtlosen Telegraphie vollständig durch die Faradayschen Ansichten erklären. Feddersen war derjenige, der die Oszillation bei der Entladung als erster nachgewiesen hatte. Mit seinem Versuch hatte Feddersen die treibende Kraft („das Agens“) für die weiteren Entwicklungen zur Verfügung gestellt.

Hertz benutzte den Schwingkreis von Feddersen für seine Untersuchungen und profitierte so von dessen Arbeiten. Aufgrund der Untersuchungen von Hertz bekam die drahtlose Telegraphie einen regelrechten Antrieb. Ob aber deshalb Hertz oder irgendein anderer das „Fundament“ der drahtlosen Telegraphie gelegt hatte, war für Bosscha nicht zu klären.

Im seinem Brief ging Bosscha auf die Telegraphie ein, für die sich ebenfalls nicht klären ließe, wer die grundlegenden Arbeiten durchgeführt hatte: Als Erfinder der Telegraphie galten Gauß und Weber. Aber wer hat das Fundament gelegt? War dies Ohm mit seiner Arbeit aus dem Jahre 1827, der Gauss und Weber zu ihren Arbeiten anregte? Oder muß man Volta nennen, weil dieser vierzig Jahre zuvor mit seiner Voltaschen Säule überhaupt erst die treibende Kraft, den gleichförmigen Strom ermöglichte? Auch hier ließe sich nicht einwandfrei klären, auf wem die Entwicklung basierte.

Im weiteren Verlauf ging Bosscha dann auf das Verhältnis zwischen technischem Fortschritt und wissenschaftlicher Erkenntnis ein. Für ihn gab es nur eine lockere Verbindung zwischen beiden. Er machte dies am Beispiel des Kohärers deutlich. Wie Feddersen war er der Meinung, daß der Kohärer die drahtlose Telegraphie überhaupt erst ermöglicht hatte. Und das, obwohl immer noch nicht wissenschaftlich exakt dessen Wirkungsweise erklärt werden konnte.

Bosscha bestätigte also im Großen und Ganzen die von Feddersen vertretenen Ansichten. Inwieweit er mit diesem Schreiben Feddersen Unterstützung in seinem Bemühen gab, ist allerdings fraglich. Denn während Feddersen Hertz die Urheberschaft aus physikhistorischen Gründen absprach, argumentierte Bosscha damit, daß es generell unmöglich sei, einer Person die Urheberschaft zuzusprechen.

9.2.6 Bäcklund

Mit Bäcklund äußerte sich ein weiterer „ausländischer Gelehrter“ zum Ansinnen Feddersens.

Bäcklund wurde 1845 in Väsby (Schweden) geboren. Nach seinem Studium in Lund promovierte er dort 1868. Danach arbeitete er zunächst als Dozent für Astronomie und Geometrie. 1872 wurde er Professor für Mathematik in Lund. 1875 wechselte er an die Universität Uppsala. Ein Jahr später kehrte er nach Lund zurück und wurde Professor für Mathematik (1875) und Physik (1900). Von 1907 bis 1909 war er Rektor der Uni-

versität in Lund. Im Januar 1910 wurde er emeritiert.[31] Zu diesem Zeitpunkt fand der Schriftwechsel mit Feddersen statt.

Feddersen sandte Bäcklund am 16. Februar seine Anfrage zur Urheberschaft der drahtlosen Telegraphie zu. Bäcklund antwortete zehn Tage später.[32]

Die Stellungnahme Bäcklunds war eher unverbindlicher Natur. Wie Bosscha war auch er sich nicht klar darüber, ob man überhaupt einem einzelnen Forscher als Urheber benennen durfte. „Offenbar gebührt“[33] Feddersen das Verdienst, als erster die Entladung der Leidener Flasche erforscht zu haben. Nach Ansicht Bäcklunds war allgemein bekannt, daß Faradays Versuche Hertz zu seinen Überlegungen geführt hatten. Ebenso hatte Hertz auf Feddersen aufgebaut. Da Hertz einen sehr unempfindlichen Empfänger benutzte, wurde die drahtlose Telegraphie erst durch die Leistungen von Righi, Branly und hauptsächlich Marconi möglich.

Bäcklunds Antwort war so unverbindlich, daß sie von Feddersen kaum zur Bekräftigung seiner Anschauung genutzt werden konnte.

9.2.7 Chwolson

Der Russe Chwolson war der letzte ausländische Gelehrte, den Feddersen nach seiner Meinung zu den Vätern der drahtlosen Telegraphie befragte. Chwolson, Jahrgang 1852, studierte von 1869 bis 1874 in St. Petersburg und Leipzig Physik. 1893 wurde er Professor am Elektrotechnischen Institut der Universität von St. Petersburg. Zugleich war er Professor an der weiblichen Hochschule. 1900 erhielt er den Titel eines Staatsrates.[34]

Am gleichen Tag, an dem Feddersen die so positive Antwort von Zehnder erhielt, setzte er das Schreiben an Chwolson auf, in dem er um eine Stellungnahme zur Urheberschaft der drahtlosen Telegraphie bat.[35] Dieses Schreiben erreichte Chwolson eigenartiger Weise nicht. Das wird aus der Antwort deutlich, die Feddersen auf seinen nächsten Brief hin erhielt. Chwolson antwortet darin einigermaßen irritiert, daß er den an ihn gerichteten Wunsch nicht nachvollziehen könne.[36] Feddersen wiederholte also das Schreiben vom 17. Februar 1910 und sandte es erneut an Chwolson.[37] Dieser Brief ist das einzige noch erhaltene Anschreiben an die ausländischen Gelehrten, von denen sich Feddersen Unterstützung bei seinen Bemühungen erwartete. Es ist somit eine wichtige Basis für das Verständnis der gesamten „Hertz-Kontroverse“. Obwohl der Brief schon fragmentarisch zitiert wurde, soll der Inhalt noch einmal im Ganzen erläutert werden.

Feddersen beschrieb, daß seiner Meinung nach Hertz zu unrecht als der Begründer der drahtlosen Telegraphie angesehen wurde. Seiner Meinung nach beruhte die drahtlose Telegraphie auf den Arbeiten von Thomson und ihm selbst. Das theoretische Rüstzeug

[31] Boethius, Bertil: Biografiskt Lexikon, Band 2. Stockholm: Albert Bonniels Förlag 1927, S. 88.
[32] Bäcklund an Feddersen, 26. Februar 1910.
[33] Bäcklund an Feddersen, 26. Februar 1910.
[34] Poggendorff, Band 4 (1904).
[35] Einen Hinweis auf diesen Brief findet sich im Schreiben vom Chwolson an Feddersen, 20. Februar 1910, das im Zenneck Nachlaß erhalten ist.
[36] Chwolson an Feddersen, 20. Februar 1910. (Als Kopie im Zenneck Nachlaß erhalten).
[37] Feddersen an Chwolson, 24. Februar 1910. (Als Kopie im Zenneck Nachlaß erhalten).

wurde von Faraday und Franz Ernst Neumann (1798–1895) geliefert. Möglich wurde die drahtlose Telegraphie allerdings erst durch die Erfindung des Kohärers durch Branly. Weiter beschrieb Feddersen, wie er diese Ansicht zunächst in der Kieler Zeitung publik gemacht hatte und zusätzlich in einem Brief an Strecker wiederholte. Sein Ansinnen war allerdings ohne Erfolg, so daß er jetzt versuchte, seine Position durch die Stellungnahmen „ausländischer Gelehrter“ zu stärken.[38]

Schon drei Tage später antwortete Chwolson.[39] Im Unterschied zu den Antworten der anderen bezog Chwolson in seinem Antwortschreiben klar und unmißverständlich Stellung. Zu Feddersens Unglück allerdings genau im umgekehrten Sinne, wie erwartet.

Für Chwolson war Feddersen derjenige, der „den ersten experimentellen Beweis des oscillatorischen Charakters der elektrischen Entladung“[40] erbracht hatte. Die Position Hertz' beschrieb er dann allerdings in sehr überschwenglicher Form so:

> *„Anderseits ist H. Hertz in meinen Augen ein Uebermensch, ein Halbgott.“*[41]

Die Position von Hertz innerhalb der drahtlosen Telegraphie war für Chwolson unangreifbar. Und während Feddersen ihn als Begründer ablehnte, ging Chwolson noch einen Schritt weiter und bezeichnete ihn als Erfinder der Technik. Chwolson lehnte Marconi schlichtweg ab. Er hatte keinerlei Verständnis für die in Deutschland vorherrschende Meinung, Marconi sei der Erfinder der drahtlosen Telegraphie. Chwolson bezeichnete es als *„alberne Marconi – Schwaermerei“*, die den Blick einiger *„– zu Ihrer Schande sei es gesagt –“* auf eine richtige Sicht verstellte. Nach dieser sehr emphatischen Darstellung stellte Chwolson plakativ die Frage:

> *„Woher gab es nach Faraday und nach Ihren Arbeiten keine drahtlose Telegraphie? Haetten wir sie jetzt, wenn Hertz nicht gekommen waere?“*[42]

Die Antwort darauf erhielt er eine gute Woche später.[43] Feddersen griff die Frage auf und bekräftigte erneut seinen Standpunkt:

> *„Ihre Frage warum es nach Faraday und meinen Arbeiten keine drahtlose Telegraphie gegeben hat, könnte man damit beantworten, dass kein "Cohärer" bekannt war. Ihre weitere Frage, ob wir sie jetzt hätten, wenn Hertz nicht gewesen wäre, lässt sich, meiner Meinung nach, nicht beantworten, denn möglich wäre es bei Kenntnis der elektrischen Inductionserscheinungen und des Cohärers gewesen;“*[44]

Auch wenn sein Ansinnen, Verbündete gegen die „Hertz-Coterie“ zu finden bei Chwolson gänzlich mißglückte, so versuchte Feddersen auch aus dem Schreiben Gemeinsamkeiten

[38] Feddersen an Chwolson, 24. Februar 1910. (Als Kopie im Zenneck Nachlaß erhalten).
[39] Chwolson an Feddersen, 27. Februar 1910.
[40] Chwolson an Feddersen, 27. Februar 1910.
[41] Chwolson an Feddersen, 27. Februar 1910.
[42] Chwolson an Feddersen, 27. Februar 1910.
[43] Feddersen an Chwolson, 2. März 1910. (Als Kopie im Zenneck Nachlaß erhalten).
[44] Feddersen an Chwolson, 2. März 1910. (Als Kopie im Zenneck Nachlaß erhalten).

herauszufiltern. Dies gelang insbesondere bei der Position Marconis, die bisher in noch keinem Schreiben primär diskutiert wurde. Feddersen griff Chwolsons klare Worte gegen den Italiener auf und bezog ebenfalls gegen ihn Position, indem er von einem Schreiben an Friedrich Simon Archenhold (1861–1939) berichtete.[45] Feddersen berichtete Chwolson, wie er in diesem Brief Marconi als einen „Patent-Odysseus“ bezeichnet hat.[46] Mit der Bitte, die „wesentlichen Übereinstimmungen“ von ihm und Chwolson für sein Anliegen benutzen zu dürfen, schloß Feddersen seinen Brief.

Es dauert nur zwei Tage, bis er von Chwolson eine Antwort erhielt. Wie schon in seinen anderen Schreiben, formulierte Chwolson eine deutliche Antwort auf Feddersens Bitte:

> *„Erstens fürchte ich, dass eine „wesentliche Uebereinstimmung“ nicht vorhanden ist. Zweitens stelle ich meinen Brief zur freien Verfügung, aber nur als Ganzes. Einzelne herausgerissene Saetze wuerden vielleicht zu falschen Schluessen Veranlassung geben.“*[47]

Wie läßt sich nun dieser Briefwechsel in Feddersens Bestreben einordnen, seiner Sichtweise zusätzliches Gewicht zu verleihen. Betrachtet man die Form und die Aussagekraft von Chwolsons Stellungnahme, so ließe sie sich noch am ehesten benutzen. Feddersen selbst ist dieser Ansicht, wenn er schreibt:

> *„Ich hatte mich an mehrere hervorragende Gelehrte des Auslandes, die mir freundliche Zuschriften gesandt hatten, mit der Bitte gewandt um ein (wenn ich sagen darf) wissenschaftliches Glaubensbekenntniss. Eure Excellenz sind der Einzige, der offen Farbe bekannt hat, während die Anderen höchst liebenswürdig und ausführlich geantwortet haben, aber eigentlich um die Sache herumgegangen sind.“*[48]

Dem kann man eigentlich nur beipflichten. Für Feddersen war es allerdings unangenehm, daß die seiner Meinung nach einzige verwertbare Aussage auch noch diametral zu seinen eigenen Ansichten stand. Es lag an der Klarheit der Chwolsonschen Standpunktes, daß Feddersen ihn bat, die Gemeinsamkeiten verwerten zu dürfen. Wer allerdings die ersten Briefe kennt, dem ist die Deutlichkeit der Abfuhr an Feddersen nicht verwunderlich.

9.2.8 Zenneck

Der sechste und letzte Gelehrte zu dem Feddersen hinsichtlich der „Hertz-Kontroverse“ Kontakt aufnahm war Zenneck.

Zenneck wurde 1871 in Rupertshofen (Württemberg) geboren. Nach seinem Studium in Tübingen hielt er sich zunächst in London auf, bevor er Assistent von Karl Ferdinand

[45] Das Archenhold Archiv wurde nach dem Zweiten Weltkrieg in die Sowjetunion verlagert. Wo sich die Briefe heutzutage befinden ist nicht bekannt.
[46] Feddersen an Chwolson, 2. März 1910. (Als Kopie im Zenneck Nachlaß erhalten).
[47] Chwolson an Feddersen, 4. März 1910.
[48] Feddersen an Chwolson, 2. März 1910. (Als Kopie im Zenneck Nachlaß erhalten).

Braun (1850–1918) in Straßburg wurde. 1905 brachte er sein Buch über *Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie* heraus, das lange Zeit das deutschsprachige Standardwerk der Hochfrequenztechnik war. 1906 wurde er Professor für Physik in Braunschweig. 1909 wechselte er zur BASF. Aus dieser Zeit stammte sein Briefwechsel mit Feddersen.[49]

Zennecks erster Brief an Feddersen war auf den 17. Februar 1910 datiert.[50] In ihm bedankte sich Zenneck für die „Abhandlung". Feddersen hatte ihm also ebenfalls einen Sonderabdruck geschickt. Im Gegensatz zu den anderen Dankschreiben fiel das von Zenneck etwas umfangreicher aus. Zenneck freute sich über *„die eigenhändige Widmung des Entdeckers und Altmeisters der elektrischen Schwingungen"*. Als Dank wollte er Feddersen ein Exemplar seines Buches zuschicken.

Schon am darauf folgenden Tag erwiderte Feddersen sein Schreiben, beschrieb seine Konfrontation mit Strecker[51] und schlug vor, Zenneck eine Abschrift des Briefes zu schicken.

Eine knappe Woche später erhielt Feddersen das schon angekündigte Buch und die Antwort auf seine Frage zur Urheberschaft der drahtlosen Telegraphie.[52] Zenneck ging sehr konkret auf Feddersens Wunsch ein und stellte seine Sicht der Lage wie folgt dar:

> *„Sie [Feddersen] sind der Entdecker der el. Schwingungen. Hertz [...] ist der Entdecker der elektromagnetischen Wellen. Branly hat einen Detektor für elektromagnetische Wellen angegeben, dessen Empfindlichkeit von ganz anderer Größenordnung war, als alles damals bekannte. Marconi [...] ist der Entdecker der drahtlosen Telegraphie."*[53]

Drei Tage später erwiderte Feddersen den Brief und schilderte seine schon bekannte Sicht zur Frage nach der Urheberschaft der drahtlosen Telegraphie.[54]

Für Feddersen war es eine „Unterlassungssünde", wenn man sowohl die Arbeiten Faradays aus dem Jahre 1831 sowie die von Neumann aus den Jahren 1840 und 1845 nicht berücksichtigte. Ebenso mußten in diesem Zusammenhang Thomsons Gesetze von 1853 und die Untersuchungen Feddersens aus dem Jahre 1859 genannt werden. Eine Berücksichtigung dieser Arbeiten ergebe zwangsläufig, daß die „gewöhnliche Telegraphie ohne Draht" nicht auf Hertz und Marconi basierte.

Weitere drei Tage später meldete sich Feddersen erneut bei Zenneck.[55] Zwischenzeitlich hatte Feddersen Zennecks Buch durchgelesen. Er beglückwünschte Zenneck zu seiner „lichtvollen Darstellung". Auf seine Ansicht zur drahtlosen Telegraphie hatte Zennecks Buch keinen Einfluß. Feddersen beharrte auf seinem Standpunkt und beschrieb erneut, wie er Faraday und Neumann „mehr ins Licht setzen" wollte. Daß diese Bestrebungen allerdings nicht ganz uneigennützig waren, wurde dann im weiteren Verlauf des Schreibens deutlich:

[49] Dieminger (1961), S. 1–13.
[50] Zenneck an Feddersen, 17. Februar 1910.
[51] Feddersen an Zenneck, 18. Februar 1910.
[52] Zenneck an Feddersen, 22. Februar 1910.
[53] Zenneck an Feddersen, 22. Februar 1910.
[54] Feddersen an Zenneck, 25. Februar 1910.
[55] Feddersen an Zenneck, 28. Februar 1910.

> *„Dass ich bei Vertretung dieser Ansicht persönlich ein Wenig interessiert bin, will ich nicht leugnen, denn wenn Hertz ausgeschaltet wird, kann es nicht mehr passieren, dass in einem kleinen Eingesandt der Kieler Zeitung (vom 28/12 1909) gesagt wird, dass ich „unter Umständen ein Hin- und Herpendeln der Elektrizität“ bei einer Entladung beobachtet habe, dass jedoch „auf den von Hertz festgestellten Gesetzen die drahtlose Telegraphie beruht“.“*[56]

Im weiteren Verlauf des Briefes formulierte er sein Interesse an der Urheberschaft der drahtlosen Telegraphie. Zenneck gegenüber zitierte er einen Brief an Zehnder,[57] indem er schrieb:

> *„dass man, wenn Hertz von seinem Thron herabgestiegen, mir (nachdem inzwischen Lord Kelvin gestorben) den Platz einräumen möge.“*[58]

Auch wenn er später diese Aussage relativiert und von einem „Scherz“ spricht, so zeigt sich doch in aller Deutlichkeit, wie Feddersen seine Position innerhalb der drahtlosen Telegraphie sah. Zenneck antwortete auf dieses Schreiben nicht.

Dafür schrieb Feddersen eine knappe Woche später erneut. Der Grund dafür war die im Herbst anstehende Versammlung der „Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte“ in Königsberg. Feddersen hatte erfahren, daß Zenneck daran teilnehmen würde. Für den Fall, daß während dieser Versammlung die von Feddersen initiierte Frage diskutiert werden würde, so rechnete er auf Zennecks Hilfe. Um für eine solche Diskussion besser gerüstet zu sein, schickte Feddersen ihm die Korrespondenz mit Chwolson. Über das Ergebnis einer solchen Diskussion machte sich Feddersen allerdings keine großen Hoffnungen:

> *„Für mich wird dabei in Königsberg natürlich nichts herauskommen, denn eine lange Lebenserfahrung hat mich gelehrt, dass man bei demjenigen, dem man sich unbequem macht, nur Ärger und Böswilligkeit hervorruft. Bei Böswilligkeit lassen sich aber meinen Briefen nur unschwer Widersprüche, Unklarheiten und, was weiss ich sonst noch, finden.“*[59] und etwas selbstkritisch fügte er hinzu: *„Ich bin vielleicht selbst dieser allgemein menschlichen Eigenschaft zum Opfer gefallen, als ich in dem Strecker'schen Briefe Widersprüche und Unklarheiten gefunden habe.“*[60]

Dieses Anliegen beantwortete Zenneck am 23. März 1910.[61] Er bedankte sich für den Schriftwechsel mit Chwolson und versicherte, daß er seine „Meinung rücksichtslos aussprechen“ werde, wenn das Thema zur Sprache komme. Im weiteren nutzte er dieses Schreiben, um auf die Einwände Feddersens zu seiner Darstellung der Urheberschaft einzugehen. Drei Punkte waren ihm dabei wichtig. Erstens hatte er in seinem Brief vom

[56] Feddersen an Zenneck, 28. Februar 1910.
[57] Dieser Brief ist nicht mehr vorhanden.
[58] Feddersen an Zenneck, 28. Februar 1910.
[59] Feddersen an Zenneck, 4. März 1910.
[60] Feddersen an Zenneck, 4. März 1910.
[61] Zenneck an Feddersen, 23. März 1910.

22. Februar 1910 lediglich experimentell tätige Wissenschaftler genannt. Wenn er den Kreis auf Physiker vergrößere, die auf theoretischem Gebiet arbeiteten, so müßte neben Thomson, Kirchhoff und Neumann auf jeden Fall Maxwell zu nennen sein. Weiterhin erklärte er, daß die drahtlose Telegraphie auch ohne die Arbeiten von Maxwell und Hertz möglich gewesen wäre. Allerdings sei dann die theoretische Basis so mangelhaft, das sie kaum zu gebrauchen gewesen wäre. Und drittens versuchte er eine Trennung von Wissenschaft und Technik vorzunehmen. Für ihn spielten sowohl der wissenschaftliche Unterbau wie auch das Forcieren der technischen Anwendungen eine Rolle für den Fortschritt in der drahtlosen Telegraphie. Insofern kritisierte er die Haltung Chwolsons, wenn dieser Marconi jeglichen Anteil an der Entwicklung absprach.

Dieser Brief von Zenneck ist der letzte des Frühjahrs 1910.
Gänzlich beendet war die „Hertz-Kontroverse“ allerdings noch nicht. Bei der Durchsicht des Zenneck-Nachlasses wurde noch ein weiterer Brief von Feddersen an Zenneck entdeckt.[62] Er war auf den 18. August 1910 datiert, wurde also fast ein halbes Jahr später geschrieben.[63] Feddersen schloß damit direkt an seinen letzten Brief an und bat Zenneck, doch auf dem Weg nach Königsberg in Leipzig Station zu machen. Feddersen wollte dann Zenneck in einem persönlichen Gespräch informieren, welche Gründe er hatte, gegen die „Vergötterung“ von Hertz anzugehen.

Dieser Brief machte noch einmal deutlich, wie stark Feddersen durch dieses Thema in Anspruch genommen wurde. Selbst nachdem ein halbes Jahr vergangen war, und nichts auf eine Weiterführung des Konfliktes hindeutete, nahm Feddersen erneut den Faden auf und versuchte via Zenneck die Diskussion in Königsberg neu zu entfachen.

Ob Zenneck tatsächlich mit Feddersen in Leipzig zusammentraf, ist unbekannt. Ebenfalls unbekannt ist, ob das Thema während der Versammlung in Königsberg überhaupt diskutiert wurde. In den offiziellen Berichten der Versammlung fand sich allerdings kein einziger Hinweis darauf.[64]

[62] Dieser Brief war nicht im Zettelkatalog der Handschriftensammlung des Deutschen Museums verzeichnet.
[63] Feddersen an Zenneck, 18. August 1910.
[64] Witting (1911).

9.3 Quellenverzeichnis – Originalbriefe

Bäcklund, Albert Victor an Feddersen, 4. Januar 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2643.

Bäcklund, Albert Victor an Feddersen, 26. Februar 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2645.

Bosscha, Johannes an Feddersen, 26. Februar 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2654.

Branly, Édouard an Feddersen, 3. Februar 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2655.

Chwolson, Orest Danilowitsch an Feddersen, 27. Februar 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2661.

Chwolson, Orest Danilowitsch an Feddersen, 4. März 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2662.

Feddersen an Zenneck, Jonathan (Chwolson Abschrift),
2. Februar bis 2. März 1910.
Deutsches Museum. Nachlass 053-036.5.

Feddersen an Zenneck, Jonathan, 18. Februar 1910.
Deutsches Museum. Nachlass 053-036.2.

Feddersen an Zenneck, Jonathan, 25. Februar 1910.
Deutsches Museum. Nachlass 053-036.4.

Feddersen an Zenneck, Jonathan, 28. Februar 1910.
Deutsches Museum. Nachlass 053-036.6.

Feddersen an Zenneck, Jonathan, 4. März 1910.
Deutsches Museum. Nachlass 053-036.1.

Feddersen an Zenneck, Jonathan, 18. August 1910.
Deutsches Museum. Nachlass 053-036.7.

Zehnder, Ludwig Albert an Feddersen, 17. Februar 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2708.

Zehnder, Ludwig Albert an Feddersen, 3. März 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2709.

Zenneck, Jonathan an Feddersen, 17. Februar 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2711.

Zenneck, Jonathan an Feddersen, 22. Februar 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2712.

Zenneck, Jonathan an Feddersen, 23. März 1910.
Deutsches Museum. Hauptsammlung 2713.

9.4 Publikationen

Blondel (1998): Blondel, Christine: Branly and the early stages of wireless telegraphy. In: *Musée des arts et mètiers, La revue* No. 12, 1995, S. 4–9. Internet am 1. September 1998: `http:/www.cnam.fr/museum/revue/ref/12a01_a.html`.

Boethius (1927): Boethius, Bertil: *Biografiskt Lexikon, Band 2.* Stockholm: Albert Bonniels Förlag 1927, S. 88–93.

Charité (1979): Charité, J.: *Biografisch Woordenboek van Nederland, Teil 1.* s'-Gravenhage: Martinius Nijhoff 1979, S. 79.

Debus (1968): Debus, Allen G. (Hrsg.): *World Who's Who in Science, A Biographical Dictionary of Notable Scientists from Antiquity to Present.* Chicago (1. Auflage) 1968, S. 232.

Dieminger (1961): Dieminger, Walter: Jonathan Zenneck. In: *Deutsches Museum – Abhandlungen und Berichte* **29. Jahrgang**, Heft 1, München: Verlag von R. Oldenbourg 1961, S. 1–39.

Feddersen (1861): Feddersen, Berend Wilhelm: Ueber die elektrische Flaschenentladung. In: *Annalen der Physik* 113, (2) *37* (1861), S. 437–467.

Feddersen (1908): Feddersen, Berend Wilhelm: *Entladung der Leidener Flasche, intermittierende, kontinuierliche, oszillatorische Entladung und die dabei geltenden Gesetze.* Leipzig: Verlag Wilhelm Engelmann (Ostwald's Klassiker; 166) (1908).

Henke (2000): Henke, Martin: *Flinke Funken im schnellen Spiegel – Berend Wilhelm Feddersen und der Nachweis der elektrischen Schwingungen.* Hamburg: Book on Demand 2000.

Kieler Zeitung (1909a): Aus der Geschichte der Elektrizität. In: *Kieler Zeitung* vom 28. Dezember 1909 (morgens), Kiel 1909.

Kieler Zeitung (1909b): Erwiderung. In: *Kieler Zeitung* vom 31. Dezember 1909, Kiel 1909.

König/Weber (1990): König, Wolfgang (Hrsg.) und Wolfhard Weber: *Propyläen Technikgeschichte: Netzwerke, Stahl und Strom.* Berlin: Propyläen Verlag 1990.

Nauck (1956): Nauck, E. Th.: *Die Privatdozenten der Universität Freiburg i. B. 1818–1855.* Freiburg im Breisgau: Verlag Eberhard Albert Universitätsbuchhandlung 1956, S. 111.

Poggendorff, Band 4 (1904): Oettingen, Arthur Joachim von (Hrsg.): *J. C. Poggendorff's Biographisch-Literarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exacten Wissenschaften enthaltend Nachweisungen über Lebensverhältnisse und Leistungen von Mathematikern, Astronomen, Physikern, Chemikern, Mineralogen, Geologen, Geographen u.s.w. aller Völker und Zeiten, Band 4.* Leipzig: Verlag von Johann Ambrosius Barth 1904.

Poggendorff, Band 5 (1926): Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Hrsg.) redigiert von Paul Weinmeister: *J. C. Poggendorffs Biographisch-Literarisches Handwörterbuch für Mathematik, Astronomie, Physik, Chemie und verwandte Wissenschaftsgebiete, Band 5.* Leipzig, Berlin: Verlag Chemie 1926.

Witting (1911): Witting, Alexander: *Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, 82. Versammlung zu Königsberg.* Leipzig: Verlag von F. C. W. Vogel 1911.

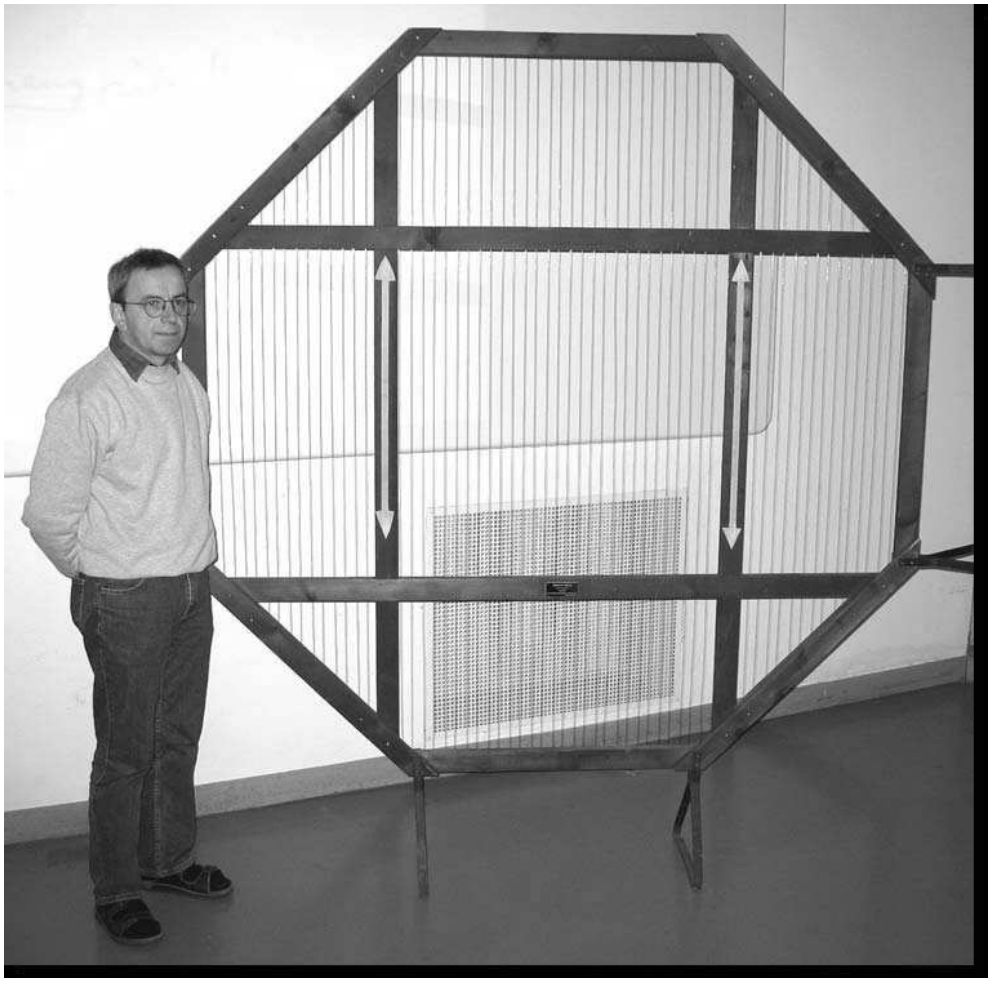


Figure 10.1:
Nachbau eines Hertzschen Drahtgitter-Polarisators

Wenn Funken Wellen schlagen – Die Hertzschen Experimente

Martin Wegener (Karlsruhe)

Abstract:

Heinrich Rudolf Hertz wurde am 22. Februar 1857 geboren. Mit seinen Karlsruher Experimenten zu elektromagnetischen Wellen hat er im Jahr 1887 die Maxwellsche Theorie der Elektrodynamik bestätigt und zugleich den Grundstein für die heutige Informationsgesellschaft gelegt.[1]

Mit seinen Experimenten zum Photoeffekt aus dem gleichen Jahr hat Hertz – ohne dass ihm dies klar sein konnte – auch die Grenzen der Maxwellschen Theorie aufgezeigt und eine Tür zum Photon sowie zur Photonik geöffnet.

[1] Weitere Informationen über die Experimente finden sich hier: Wegener, Martin: Zum 150. Geburtstag von Heinrich hertz. Wenn Funken Wellen schlagen. In: *Physik in unserer Zeit* **38** (2007), Heft 3, S. 149–151.
Auf einer DVD wurden die Experimente, die während des Symposiums im Oktober 2007 vom Verfasser vorgeführt wurden, dokumentiert: Handwerk, Agnes und Harrie Willems: *Allein mit der Natur. Heinrich Hertz – Experiment und Theorie.* DVD Hamburg 2008.

Figure 11.1:
Heinrich Daniel Rühmkorff (1803–1877)

Heinrich Daniel Rühmkorff. In: *La Nature* 2nd Jan. 1878, p. 97.

Heinrich Daniel Rühmkorff – Inventor of the induction coil

Frank Dittmann (Munich)

Abstract: Heinrich Daniel Rühmkorff – Erfinder des Rühmkorffschen Funkeninduktors

1851 stellte Heinrich Daniel Rühmkorff mit seinem Funkeninduktor ein Gerät vor, mit dem man kontinuierlich Hochspannung erzeugen konnte.[1] Bald gehörte der „Rühmkorff“ zur Standardausstattung wissenschaftlicher Laboratorien in aller Welt. Die Erzeugung von sehr hohen Spannungen war eine Voraussetzung für viele Entdeckungen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Dies gilt für die Erforschung der Gasentladungsphysik oder der Kathoden- und Röntgenstahlen ebenso wie für die Entdeckung des Elektrons oder die Erzeugung von Funkwellen. Der Rühmkorffsche Hochspannungstransformator wurde auch außerhalb der Laboratorien in vielfältiger Weise verwendet, so zur Zündung von Sprengstoffen, als Zündspule für Verbrennungsmotoren oder in Schauversuchen, um Funken von spektakulärer Länge zu erzeugen. Gleichwohl ist über Heinrich Daniel Rühmkorff wenig bekannt. Oft gibt es widersprüchliche Angaben, z. B. zu seinem Sterbedatum. Bisweilen wird auch der Name in der Literatur nicht korrekt geschrieben. Der Aufsatz zeichnet Leben und Werk dieses herausragenden Instrumentenbauers, der 1803 in Hannover geboren wurde, aber hauptsächlich in Paris wirkte, nach.

11.1 Introduction

Apart from references in many text books,[2] the name Heinrich Daniel Rühmkorff has almost disappeared into obscurity. Yet the name is intrinsically connected to the induc-

[1] Revised and extended version of Dittmann 2004.

[2] It is only possible to give a shortlist of references here: *Encyclopaedias*: The New Encyclopædia Britannica 2002, as well in German: Brockhaus 2006, Meyers 1909; *Biographical dictionaries:* Glaeser 1878, Vapereau 1880, ADB 1889, Matschoss 1925, Alphandéry 1963, Williams 1969, p. 452, Finn 1981, DBE 2001.

tion coil. Although this apparatus is no longer used, from the second half of the 19^{th} century onward it was one of the fundamental instruments used in almost all physical laboratories in Europe and America. The induction coil contributed substantially to the discoveries of cathode rays, X-rays and of the electron. Without this instrument it would have been impossible to study gas discharge physics, and Heinrich Hertz (1857–1894) would not have been able to generate radio waves. The Rühmkorff high voltage transformer was also used outside of laboratories in a variety of ways – for detonating explosives, as an ignition coil for combustion engines, as well as in public demonstrations, where it was used to generate sparks of spectacular lengths. Due to this proliferance, almost all significant scientific collections include a "Rühmkorff", as the instrument was also known.[3]

The name was also propagated by the novels of the French science-fiction author Jules Verne (1828–1905). In a number of books he mentioned a light source consisting of a Geissler tube supplied by a Rühmkorff induction coil.[4]

11.2 Function

The induction coil is an impulse transformer with an extremely high conversion ratio.[5] In order to avoid eddy current losses, Rühmkorff used an open iron core consisting of a large number of thin, insulated iron wires. Onto this he slid a cardboard tube with a glass or wood flange on the end with a 2 mm thick brass wire coiled loosely around it. Surrounding this was a glass tube around which a very thin insulated wire was coiled. Rühmkorff paid greatest attention to insulation of the secondary coil. He insulated the wire by passing it through a melted shellac and separated each layer of wire from the next by means of varnished silk or shellaced paper. Later the mechanic winded the coil in separat partitions so that no portions of the wire which are closely adjacent are at very different potentials. Originally this suggestion came from the English electricians Sir Charles Tilston Bright (1832–1888) and his brother Edward Brailsford Bright (1831–1913).[6]

The high conversion ratio of the two spools enabled Rühmkorff to achieve an extremely high secondary voltage. In order to prevent arcing within the secondary spool, the individual layers had to be meticulously insulated from each other. Galvanic elements supplied the primary coil with chopped direct current. A vibration hammer interrupter – in Germany called Wagner interrupter – was used, which together with the sparking wheel (Blitzrad) invented by Neeff is one of the simplest electromagnetic interrupters.

[3] 10 years ago the inventoried instruments of the University of Regensburg were exhibited, including a number of induction coils. See: Rühmkorff, Röntgen, Regensburg 1997. The Whipple Museum of the History of Science in Cambridge, U.K., also owns a number of Rühmkorff induction coils. See: Lyall 1991.

[4] Verne 1870; Verne 1871; Verne 1872.

[5] Becquerel 1856, Notice sur l'appareil d'induction 1872, Uppenborn 1888, Fleming 1892, Jeszenszky 1985.

[6] Fleming 1892, p. 37. These are probably Sir Charles Tilston Bright (1832–1888) and his brother Edward Brailsford Bright (1831–1913).

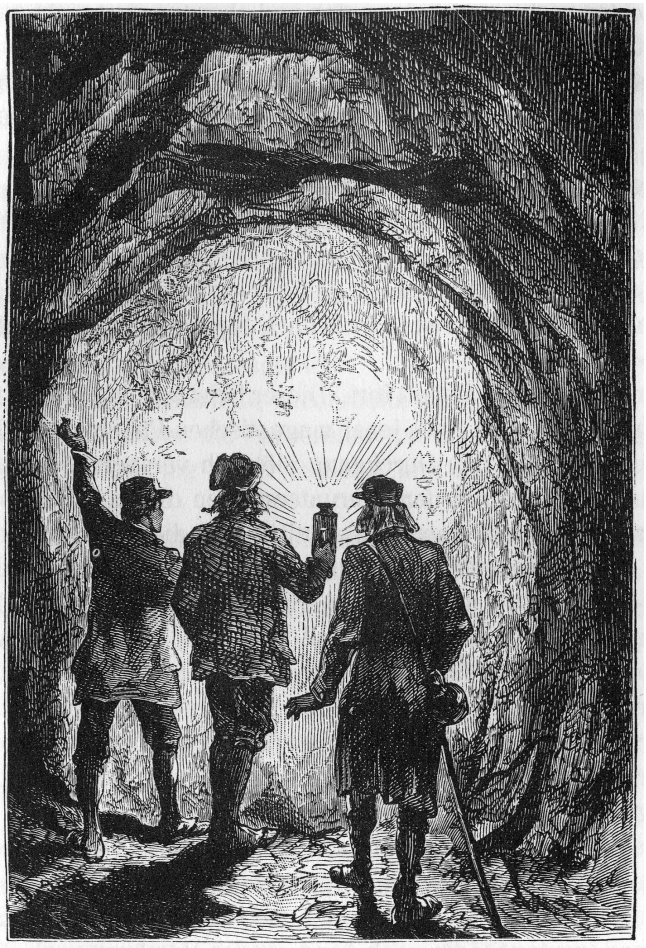


Figure 11.2:
Geissler tube in novels by Jules Verne

Verne 1871.

As early as 1835 Christian Ernst Neeff (1782–1849) had studied the physiological effects of interrupted current and constructed an automatic interrupter.[7] A comparable system was invented by Johann Philipp Wagner (1799–1879) in 1837, which was subsequently named after him in Germany. Similar to an electric bell or a buzzer, the primary current is interrupted independently. The magnetic field of an iron core attracts a contact plate, thus opening the circuit. As this causes the magnetic field collapse, the contact plate is released, restoring the circuit. Depending on the configuration of the interrupter system, this system generates a chopped current of a few ten Hertz. Following a suggestion of Armand Hippolyte Louis Fizeau (1819–1896), Rühmkorff connected capacitors parallel to the contact.[8] This eliminated the contact spark whilst at the same time increasing the sparking distance. However, as the hammer interrupter is not capable of switching

[7] Neeff 1835.
[8] Fizeau 1853.

currents greater than a few amperes, Jean Bernard Léon Foucault (1819–1868) invented the mercury interrupter for higher currents in 1856[9] – independently from the American physicist Charles G. Page (1812–1868).

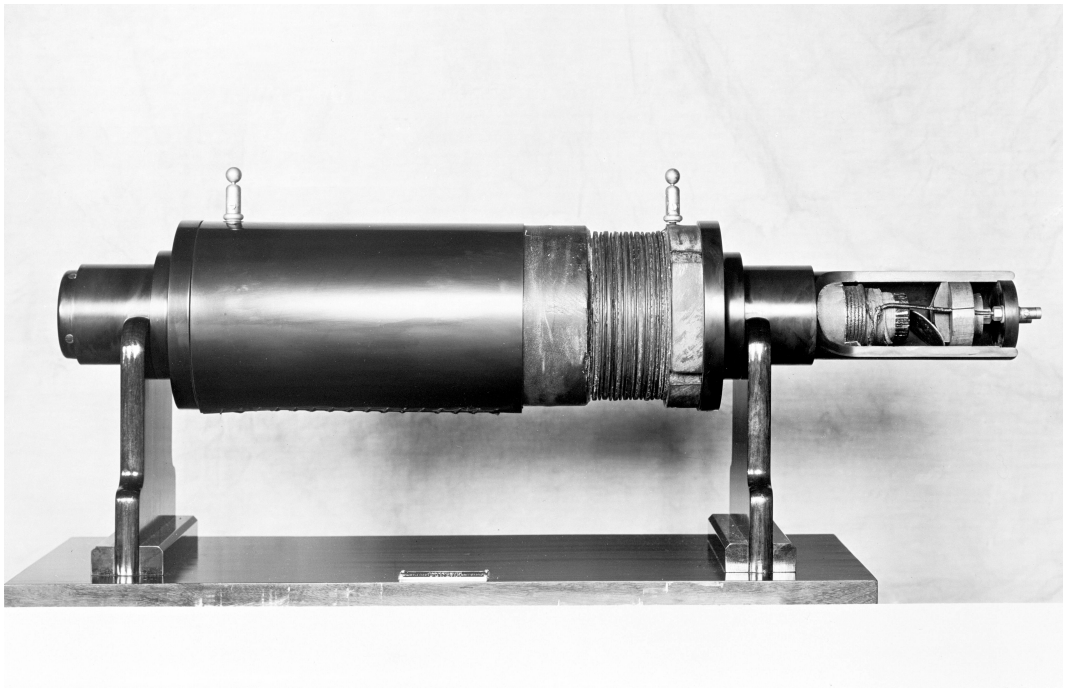


Figure 11.3:
Rühmkorff's induction coil
Deutsches Museum, Munich

11.3 On the biography of H. D. Rühmkorff

Although the Rühmkorff induction coil achieved prominence amongst the instruments of physical laboratories in the 19^{th} century, relatively little is known about its inventor. One of the reasons for this is that Heinrich David Rühmkorff was an unassuming person who was content to work in the background – at least according to various descriptions of him. Of greater importance, however, is probably the fact that he did not contribute any great discoveries to science. As a mechanic he also would not have been permitted to appear in any of the elitist scientific organisations or the Académie des Sciences in Paris – despite the fact that he was known to be one of the best instrument builders of the 19^{th} century.[10] The tendency of honouring those who make important discoveries and not those whose work forms the basis for such discoveries not only continues to this day, but has even

[9] Foucault 1856.
[10] Brenni 1994a.

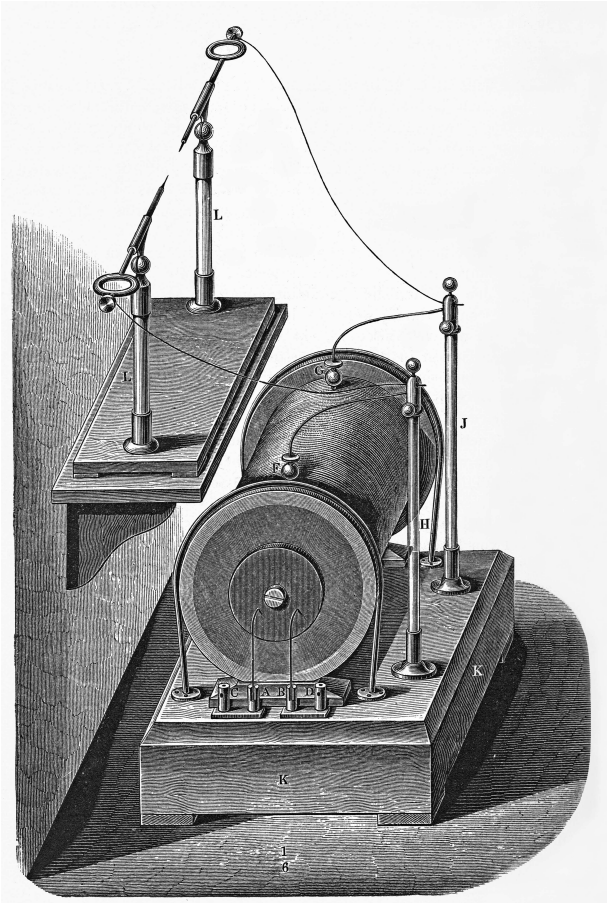


Figure 11.4:
Rühmkorff's induction coil
Deutsches Museum, Munich

increased with the emergence of Big Science.[11] Today, developments, inventions, and discoveries in science and technology have attained such a complexity that it is almost impossible for an individual to be solely responsible for such achievements. Thousands of laboratory engineers and scientists, for example, are required for the operation of particle accelerators or for the construction and launch of space rockets, yet most of them are never mentioned.

Similar to many other mechanics, instrument builders and engineers, it is difficult to find reliable sources on Rühmkorff. Most of the newer biographies refer to an extensive essay by Emil Kosack (1875–1953), an electrical engineer, published in 1903 on the occasion of Rühmkorff's 100^{th} birthday.[12] Yet much of the information in this publication is not verified, and some points should probably be considered as anecdotes and not taken as fact. However, it can be supposed that Kosack derived much of his information from

[11] Price 1963.
[12] Kosack 1903.

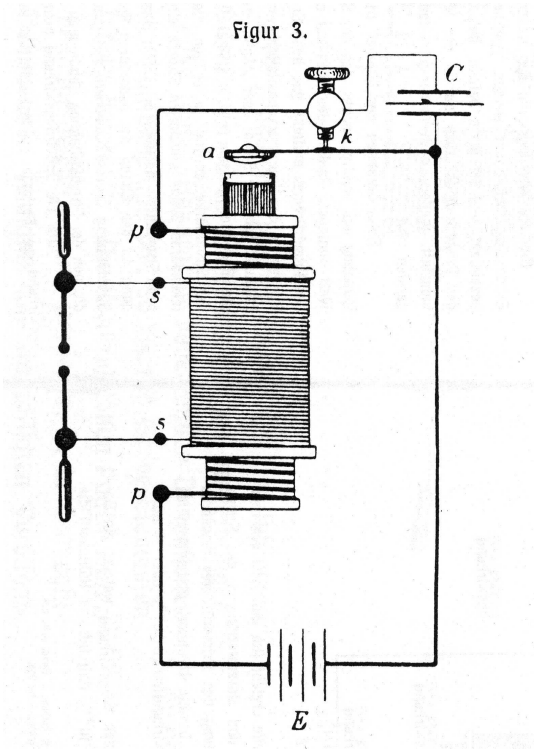


Figure 11.5:
Circuit of Rühmkorff's induction coil

Kosack 1903, p. 16.

Rühmkorff's family. Despite this, almost no information on Rühmkorff's private life exists. Accordingly, the review of Kosack's book simply states: "There ist not much to say about his life."[13] Even worse – not only do we have relatively few biographical facts, but even his name is often misspelled. The date of his death is also not yet resolved. A century ago in his book on electricity, Arthur Wilke thought it necessary to add a correction in a footnote: "Rühmkorff went to Paris as a young mechanic and there called himself 'Ruhmkorff'. This led to a mispronunciation of his name in Germany, i. e. with a 'u' instead of a 'ü'. As his relatives living in Hanover, however, spell their name 'Rühmkorff', it is time that we should revert to the correct pronunciation according to the spelling."[14] Genealogical studies have traced the name back to the 15^{th} century. Its literal meaning is: "empty the basket", thus referring to an exceptional quality of the first bearer of the name.[15] Once living in Paris, Rühmkorff was able to dispense with the umlaut without changing the pronunciation of the name. It was the transferring of

[13] ETZ 24, 1903, No. 3, pp. 44-45; p. 44.
[14] Wilke 1898.
[15] Familie Rühmkorf 1921/22, Rühmkorf 1928.

the French spelling into other languages which led to errors. It is possible, for example, to find both spellings of his name in German editions of Jules Vernes' novels.[16]

11.4 An attempt of a critical biography

Heinrich Daniel Rühmkorff was born on January 15^{th}, 1803 in Hanover in the house "Rote Reihe No. 3" to the "postal conductor M[r] Friedrich Gottlieb Römkorff and h[is] Sophie Kuckuck". According to the register of the St. Johannis parish, he was baptised on January 30^{th}.[17] Heinrich Daniel grew up in modest circumstances with his three brothers and six sisters.[18] At age 18, after completing an apprenticeship under turnery master Wellhausen in Hanover, he left town looking for work. In the following years he was trained as a mechanic in Stuttgart. Two years later, as a young man, Rühmkorff went to Paris where he worked for a professor of physics whose name is unknown. The young mechanic came to be noticed by the professor when a laboratory instrument was sent to England for repairs. Rühmkorff rebuilt the instrument from memory in better quality than the original. In 1824 Rühmkorff decided to go to London to work in the workshop founded by Joseph Bramah (1749–1814). Amongst other things, Bramah, who had died 10 years previously, had developed a flushing toilet, a safety lock and a paper machine. His hydraulic press had made him well known.[19] Regrettably, nothing is known of Rühmkorff's tenure in London. Three years later in 1827 he left England in order to travel to Russia via the Baltic town Swinemünde on the island of Usedom. A lucky coincidence, however, is said to have caused him to miss his ship which, according to Kosack, soon thereafter foundered and sank.[20] Rühmkorff then returned to Hanover and worked for a short time for the precision mechanic Freck in Celle. Kosack tells us that his adventurous spirit and the advice of his friends induced him to return to Paris where he found employment in Chevalier's workshop. Charles Chevalier (1804–1859) was the exceptional icon of a whole dynasty of instrument builders. His workshop was famed for its microscopes, optical instruments and lenses.[21]

In 1839 at age 36, Rühmkorff set up his own mechanical workshop in the metropolis on the Seine in Rue Champollion – despite great competition. At first he was only moderately successful, with his living room doubling up as his workshop. Yet after only a short while he had earned a reputation of being one of the most skilled mechanics in the city. This enabled him to come into contact with leading French physicists such as Jean-Baptiste Biot (1774–1862), Alexandre Edmond Becquerel (1820–1891) and Jean Baptiste André Dumas (1800–1884).

In 1842 Rühmkorff presented an improved, highly sensitive galvanometer to the Académie des Sciences. This achievement earned him his first reference by name in the weekly re-

[16] see footnote 4
[17] Ev.-luth. Stadtkirchenverband Hannover, Stadtkirchenkanzlei, Kirchenbuchamt: Baptismal entry in the parish register of the Neustädter church St. Johannis, Hanover, Taufen 1803, Nr. 6.
[18] Kosack 1903, pp. 7; Brenni 1994a.
[19] Williams 1969, p. 79, Day 1996, pp. 91–92.
[20] Kosack 1903, p. 8.
[21] Brenni 1993.

Figure 11.6:
Rühmkorff's birthplace, Hanover, Rote Reihe No. 3
(small house in the centre)

Historisches Museum, Hanover

ports of the Parisian academy.[22] Two years later he was awarded the silver medal at the 1844 French Industrial Exhibition for the development of the so-called Melloni table. Today, the Italian physicist Macedonio Melloni (1798–1854) who, due to political reasons, resided in Paris for various periods of time, is considered a pioneer in infra-red research.

In 1849 Rühmkorff was again awarded the silver medal, this time for an instrument developed in 1846 which greatly simplified Michael Faraday's (1791–1867) experiments which proved the influence of magnetism on the polarisation of light.[23] It can be assumed that by now Rühmkorff was a well-known and respected instrument builder, whose hallmarks were high precision, simplicity and functionality.

The induction coil of 1851 is regarded as his most outstanding invention. In contrast to the then widely used influence machine, it was able to continuously generate electric sparks. This instrument was a direct infuenced by the work of European Physisists such as Antoine-Philibert Masson (1806–1860), Christian Ernst Neeff, Emil Stöhrer (1813–1890), Emil du Bois-Reymond (1818–1896) and others. His probable ignorance of the work of Joseph Henry (1797–1878) and Charles G. Page in the USA has, however, often led to disputes about priority claims.[24] With a primary voltage of only 2 to 3 volts

[22] Appareil 1842.
[23] Note sur un appareil ... de M. Faraday (1846), Rapport 1846.
[24] Post 1976, see also Ruhmkorf's Apparatus (1857), Professor Pages.

from a battery Rühmkorff's instrument was capable of generating a continous spark approximately 2 cm in length. Larger versions were soon able to generate over 40 cm long sparks which, according to a contemporary report, "were similar to bolts of lightning and were able to scare even the hardiest spectators".[25] Such fear was not unfounded, as voltages of approximately 100.000 V are necessary for such sparks.

In the year 1855, at the second World Exhibition in Paris, Rühmkorff received international acclaim. As industrialisation was increasingly regarded as a nationalistic task, Louis Napoléon Bonaparte, who in 1852 had proclaimed himself as Emperor Napoleon III, had turned this exhibition into a nationalistic presentation. Here, for the first time, the induction coil was presented to a large audience. It created such a sensation that its inventor was awarded the first prize. Further acclaim was to follow, with Napoleon III awarding him the Knight's cross of the Legion of Honour and investing him as a civil servant in the field of public education.

By now Rühmkorff was highly respected not only in academic circles. Proof of this was the awarding of the Trémont-Prize of a thousand Francs a year for five years in a public meeting of the Parisian Academy in 1859. This prize was awarded for the years 1856 to 1860. Giro de Vienney, Baron von Trémont, had endorsed this prize in order to support the efforts of people without financial wealth in science and the arts.[26] The award of such a prize possibly sheds light on the financial situation of Rühmkorff's workshop. Whilst sources are very reserved on this subject, it can be deduced from various comments that although Rühmkorff was an ingenious mechanic, his commercial skills were only average. It appears that his workshop only narrowly avoided bankruptcy on a number of occasions. One of his obituaries, for example, extols the exceptional generosity "with which he lent his instruments to the populistic scientific writers of his favourite scientific field, not only one or two instruments, but his entire collection ... occasionally, however, his most beautiful objects were returned to his workshop in pieces."[27]

Despite his many contacts in Germany, Rühmkorff stayed in his chosen country of France. Heinrich Geissler (1815–1879), for example, famed for the gas discharge tubes named after him, tried without success to convince Rühmkorff to return to Germany, the land of his birth.[28] Geissler most certainly was in close contact with Rühmkorff, as there was a great hope of combining the Geissler tube with Rühmkorff's induction coil, thus creating safety lamps for miners or spotlights for divers and surgeons. These are the lamps Jules Verne mentioned in many of his novels.

In 1864 Rühmkorff was again decorated, this time receiving the Volta-Prize.[29] This prize, endowed with 50.000 Francs, was established by Napoleon I in 1802. It was to be awarded to the first physicist to find an outstandingly important application of the Voltaic column. In 1852 the prize was renewed by Napoleon III. In 1864 Rühmkorff also received the gold medal of honour for arts and sciences from the kingdom of Hanover.

[25] Cited from Kosack 1903, p. 18; as well notice in Polytechnisches Journal 157, 1869, p. 239.
[26] Rapport sur le prix Trémont 1858.
[27] Moigno 1877, p. 711.
[28] Kosack 1903, p. 34.
[29] Prix Napoléon pour l'électricité (1863), see as well Le Moniteur Universel 13 Sept. 1864, p. 1.

A few years later he declined a Prussian medal out of loyalty to the ruling house of Hanover.

In 1870 Rühmkorff was taken seriously ill. In the middle of the Franco-Prussian War one of his sisters had to travel to Paris to look after him. As the French wanted to prevent the Germans from using the induction coil to detonate mines, Rühmkorff was put under guard and was forbidden from leaving Paris. Only with the intercession of the American delegation was his sister able to arrange for her sick brother to return to Hanover. After the end of the war he recuperated and returned to the city on the Seine. Judgements on his return vary greatly. German sources only mention it in passing, whilst French biographers award it great emphasis. One obituary states that: "after the war of 1870–1871 the inventor received very seductive offers inducing him to relocate to Berlin. Yet he opposed all of these offers ... and forcefully and decisively declined them."[30] At the age of 75 years Heinrich Daniel Rühmkorff died on December 19^{th}, 1877 in his home in Paris. At least this is the date given in many contemporary French and early German obituaries.[31] Other sources state December 20^{th}, which Kosack accepted,[32] thus leading to the inclusion of this date in many of the newer biographies.[33]

Many obituaries praise Rühmkorff's friendly, modest and open-minded character. Many representatives of scientific societies and friends paid him their respects at his funeral on December 22^{nd}, 1877, in Mont-Parnasse cemetery. Both Paris and Hanover have named a street after him.

The available sources offer regrettably little information on his personal circumstances. Only one obituary vaguely mentions a son, whose sudden death is said to have prevented him from taking over his father's famous workshop.[34] If this information is correct, it can be assumed that Rühmkorff had a wife, probably French. A marriage seems plausible, as an illegitimate son would most probably not have been able to take over his father's workshop. The assumption that his wife was French would also explain his absolute reluctance to return to Germany. Yet this then poses the question of why his sister had to come to Paris in 1870 to look after him. This only makes sense if one assumes that his wife had already passed away.

More is known of Rühmkorff's workshop: at his death in 1877 he had approximately 30 employees. Regrettably, no catalogue could be found to give us information on the product range. After the death of its founder, the famous workshop was taken over and saved from bankruptcy by Jules Carpentier (1851–1921) who has studied at the Ecole Polytechnique. An intelligent marketing move was undoubtedly the renaming of the workshop to "Ateliers Ruhmkorff – J. Carpentier, ingénieur constructeur".[35] This

[30] Ruhmkorff 1878a.

[31] Correspondence 1877, Moigno 1877, Ruhmkorff 1878, Vapereau 1880, ADB 1889, Brenni 1994a, DBE 2001. Ruhmkorff 1878b mentioned no date.

[32] Kosack 1903 p. 34.

[33] Matschoss 1925, Meyer 1929, Williams 1969, p. 452, Wüger 1977, Brockhaus 2006, Heiner 2003. The 20^{th} December 1877 as date of death is also mentioned in a contemporary obituary in Nature Ruhmkorff 1877, see: Rühmkorff 1877.

[34] Moigno 1877, p. 711–712.

[35] Brenni 1994b.

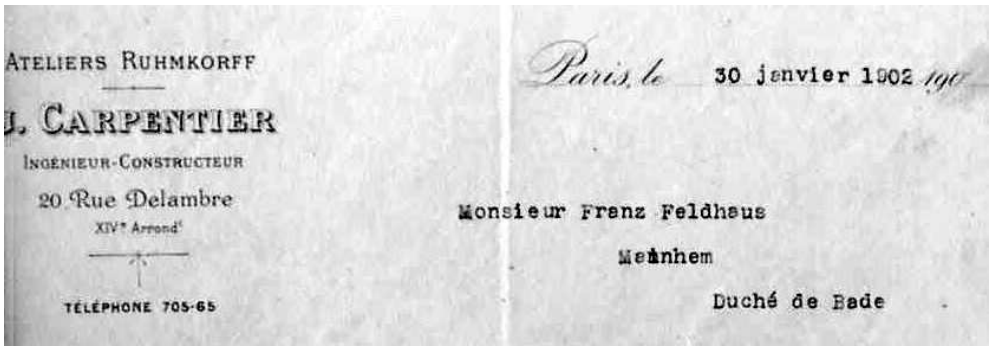


Figure 11.7:
Letter heading of the Ateliers Rühmkorff

J. Carpentier, Deutsches Technikmuseum Berlin, Feldhaus archive.
I wish to thank Sandor Jeszenszky, Budapest, for this picture.

ensured that the trade name Rühmkorff enjoyed worldwide renown and retained this status until far into the 20^{th} century. Thus it can safely be said that Heinrich Daniel Rühmkorff laid the foundation for the reputation of the workshop with his excellent instruments, yet that it was Jules Carpentier who economically reorganised the company and exported the name Rühmkorff into the entire world.

11.5 The reception history

Soon after its invention the Rühmkorff induction coil was widely used in research laboratories. The ability to continuously generate extremely high voltages was fundamental for many scientific discoveries in the second half of the 19^{th} century such as cathode rays, X-rays, or the discovery of the electron or the generation of radio waves by Heinrich Hertz. Only four years after Rühmkorff's invention was presented in 1851, an extensive French study was published which was extended and reprinted several times. In 150 pages Theodose Du Moncel, an engineer with the Lignes Télégraphiques Française, described the set-up of the induction coil and presented numerous important experiments. In 1857 a German translation of the study was published.[36] In the following decades the induction coil was repeatedly used by scientists.[37] Thus, it is not without reason that all important physical textbooks contain a description of Rühmkorff's invention.[38]

Various works in science history regard the induction coil as an element in the development of the transformer,[39] the basic principle of which is directly based on Michael Faraday's discovery of electromagnetic induction. Between 1836 and 1838 both the Irish priest and physics teacher Nicholas Joseph Callan (1799–1864) and the American physi-

[36] Du Moncel 1855.
[37] See e. g. Börnstein 1872, Heydweiller 1887, Weiler 1923.
[38] See e.g. Ganot 1855, Ganot 1881, Müller-Pouillet's Lehrbuch 1888.
[39] Uppenborn 1888, Fleming 1892, Shiers 1971, Post 1976, Jeszenszky 1985.

cist Charles G. Page independently developed experimental set-ups for generating high voltages. In a publication in 1837 Callan described a horseshoe-shaped iron bar around which first a thick wire was coiled, followed by a thin copper wire 25 times longer. When Callan chopped the primary battery current with a contact interrupter, he observed small sparks between the ends of the secondary spool.[40] In 1837 Page presented a similar experiment in the USA.

Heinrich Daniel Rühmkorff was first publicly honoured in Germany on the occasion of his 100^{th} birthday.[41] The academic ceremony was conducted on January 15^{th}, 1903, in his native city of Hanover. In the morning Friedrich Kohlrausch (1840–1910), the chairman of the Hanoverian association of electrical engineers, unveiled a memorial plaque at his birthplace. This ceremony was attended by numerous city representatives, as well as members of his family and various other guests. An honorary conference at the TH Hanover in the afternoon included an experimental lecture with the title "On the importance of the Rühmkorff induction coil". His life and achievements were impressively highlighted by experiments, including one in which a spark of over 1 m length was generated. Surprising colour and fluorescence effects were generated by Geissler tubes, whilst the audience was able to observe in an X-ray demonstration both the bones in the hand of the presenter as well as the contents of his well-filled wallet. To conclude the presentation, a wireless telegraph was transmitted into the lecture hall from a side room. After 6 p.m. the ceremony was concluded with a gala dinner in the Hotel Four Seasons (Zu den vier Jahreszeiten) with numerous toasts in honour of Rühmkorff.

Along with two neighbouring houses, Rühmkorff's birth place in the street "Rote Reihe" survived the bombings of the Second World War. However, as these houses did not suit the rebuilding schemes of the city planners, the houses were taken down in order to be rebuilt elsewhere. This project, however, was not concluded.[42] Thus, the city of Hanover is sadly lacks a suitable public testimony to Heinrich Daniel Rühmkorff, the man who built the scientific instruments with which a multitude of discoveries were made and with which so many famous names such as Plücker, Hittorf, Röntgen, Hertz and Marconi are associated.

11.6 Literature

ADB (1889): Allgemeine Deutsche Biographie, Vol. 29. Leipzig: Duncker & Humblot, p. 615.

Alphandery, Marie-Fernande (1963): *Dictionnaire des inventeurs francais.* Paris: Éd. Seghers (Reprint 1979), p. 306.

Appareil (1842) destiné à augmenter la sensibilité des aiguilles du multiplicateur sans altérer leur magnétisme; par Ruhmkorff. In: *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des Sciences* **14**, p. 608.

Becquerel Edmond (1856): Ueber Ruhmskorff's elektromagnetischen Apparat. In: *Dinglers Polytechnisches Journal* **139**, pp. 358–364.

[40] Heathcote 1965.
[41] Rühmkorff-Feier 1903; on activities in France: Le Centenaire (1903).
[42] Nestler 2004.

Börnstein, Richard (1872): Zur Theorie von Rühmkorff's Inductionsapparat. In: *Annalen der Physik und Chemie* **147**, No. 12, pp. 481–524.

Brenni, Paolo (1993): The Chevalier Dynasty. In: *Bulletin of the Scientific Instrument Society* **No. 39**, pp. 11–14.

Brenni, Paolo (1994a): Heinrich Daniel Ruhmkorff (1803–1877), In: *Bulletin of the Scientific Instrument Society* **No. 41**, pp. 4–8.

Brenni, Paolo (1994b): Jules Carpentier (1851–1921), In: *Bulletin of the Scientific Instrument Society* **No. 43**, pp. 12–15.

Brockhaus (2006) Enzyklopädie. Leipzig, Mannheim: F. A. Brockhaus (21st Ed.) **Vol. 23**, p. 462.

Correspondence (1877) In: *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des Sciences* **85**, pp. 1211–1212.

Day, Lance (1996): McNeel, Ian. In: *Biographical Dictionary of the History of Technology.* London, New York: Routledge.

DBE (2001): *Deutsche Biographische Enzyklopädie* Vol. 8. Munich: K. G. Saur, p. 452.

Dittmann, Frank (2004): Heinrich Daniel Rühmkorff (1803–1877). In: Wessel, Horst A. (ed.): *Jahrhunderte der Hochspannung.* Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, pp. 77–90.

Du Moncel, Théodose (1855): *Notice sur l'appareil d'induction électrique de Ruhmkorff et les expériences que l'on peut faire avec cet instrument.* Paris (in German 1857).

Familie Rühmkorf (1921/22). In: *Niedersachsen (Hannover)* **27**, p. 397.

Finn, Bernard (1981): Rühmkorff, Heinrich Daniel. In: *Dictionary of Scientific Biography* Vol. 11. New York, pp. 603–604.

Fizeau, Armand Hippolyte Louis (1853): Note sur les machines électriques inductives et sur un moyen facile d'accroitre leurs effets. In: *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des Sciences* **36**, pp. 418–421.

Fleming, John A. (1892): The alternate Current Transformer in Theory and Practice. In: Vol. II: The utilization of induced current. London: The Electrician, pp. 35–40.

Foucault, Léon (1856): Note sur l'emploi des appareils d'indiction; interrupteur à mercure. In: *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des Sciences* **43**, pp. 44–47.

Ganot, Adolphe (1855): Traité élémentaire de physique experimentale (5 éd.), pp. 666–672.

Ganot, Adolphe (1881): Cours de physique purement expérimentale et sans mathématiques. Paris: Auteur, pp. 514–518.

Glaeser, Ernest (1878): Biographie nationale des contemporains. Paris: Glaeser, p. 686.

Heathcote, Niels H. de V. (1965): N. J. Callan. The Inventor of the Induction Coil. In: *Annals of Science* **21**, pp. 145–167.

Heiner, Christoph (2003): Zum 200. Geburtstag des Erfinders Heinrich Daniel Rühmkorff. In: *Funkgeschichte* **26**, No. 150, pp. 209–212.

Heydweiller, Adolf (1887): Galvanometrische Messungen am Rühmkorff'schen Induktionsapparat. (Habilitationschrift). Universtät Würzburg.

Jeszenszky, Sandor (1985): Die Geschichte des Funkeninduktors und seine Rolle in der Entwicklung der Elektrotechnik, In: *Technikatörténeti szemle* (Review of history of technics) (Budapest) **15**, pp. 51–65.

Kosack, Emil (1903): Heinrich Daniel Rühmkorff. Ein Lebensbild zu seinem 100. Geburtstage. Leipzig, Hannover: Hahn.

Le Centenaire (1903) de Henri-Daniel Ruhmkorff. In: *L'Éclairage électrique* 14 Février 1903, Supplément p. XC–XCII.

Lyall, Kenneth (1991): Electrical and magnetic instruments. Catalogue 8. Cambridge, U.K.: The Whipple Museum of the History of Science.

Matschoss, Conrad (1925): *Männer der Technik.* Berlin: VDE-Verlag, p. 234.

Meyers (1909): *Großes Konversations-Lexikon* 6th ed., Vol. 17. Leipzig: Bibliographisches Institut, p. 244.

Moigno, François (1877): Nécrologie (H. D. Rühmkorff). In: *Kosmos – Les Mondes* **47**, pp. 710–712.

Müller-Pouillet's *Lehrbuch* (1888): *der Physik und Meteorologie.* Vol. 3: Elektrische Erscheinungen. Braunschweig: Vieweg (9. Auf"|lage) 1888–1890, pp. 867–874.

Neeff, Christian Ernst (1835): Das Blitzrad, ein Apparat zu rasch abwechselnden galvanischen Schließungen und Trennungen. In: *Poggendorffs Annalen für Physik und Chemie* **36**, p. 352.

Nestler, Johannes (2004): Das Rühmkorff-Haus in Hannover und die Mühen um seinen Wiederaufbau. In: Wessel, Horst A. (Hrsg.): *Jahrhunderte der Hochspannung.* Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, pp. 91–106.

Note sur un appareil destiné à répeter l'expèrience fondamentale de la découverte de M. Faraday (1846), de l'action du magnétism sur la lumière. In: *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des Sciences* **23**, pp. 417–418.

Notice sur l'appareil d'induction (1872) produisant de l'electricité statique, par M. Ruhmkorff, In: *Les Mondes* **27**, pp. 64–67.

Post, Robert C. (1976): Stray Sparks from the Induction Coil: The Volta Prize and the Page Patent. In: *Proceedings of the IEEE* **64**, No. 9, pp. 1279–1286.

Price, Derek J. de Solla (1963): Little Science, Big Science .... New York: Columbia University Press.

Prix Napoléon pour l'électricité. (1863) In: *Les Mondes* **1**, No. 13, pp. 337–340.

Professor Page (1865) the Inventor of the Ruhmkorff Coil. In: *Scientific American* 12, p. 69.

Rapport (1846) sur un appareil construit par M. Ruhmkorff, In: *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des Sciences* **23**, pp. 538–542.

Rapport sur le prix Trémont (1858). In: *Comptes rendus hebdomadaires des seances de l'Academie des Sciences* **46**, pp. 270–273.

Rühmkorf, Karl (1928): Ursprung, Schreibweise und älteres Vorkommen des Familiennamens Rühmkorf. In: *Unsere Diözese in Vergangenheit und Gegenwart* (Hildesheim) **2**, No. 3, pp. 108–113.

Ruhmkorf's Apparatus (1857) constructed by E. S. Ritchie of Boston. In: *American Journal of Science* **23**, pp. 451–452.

Ruhmkorff (1877), Heinrich Daniel. In: *Nature* 17, 27^{th} Dec., p. 169;
as well in: *Journal of the Franklin Institut* **105** (1878), pp. 133–134.

Ruhmkorff (1878a), Heinrich Daniel. In: *La Nature* **No. 241**, 12 Jan., p. 97.

Ruhmkorff (1878b), Heinrich Daniel. In: *Scientific American* **38**, p. 81.

Rühmkorff, Röntgen, Regensburg (1997): Historische Instrumente zur Gasentladung. Regensburg.

Rühmkorff-Feier. (1903) In: *ETZ* 24, No. 10, p. 191;
as well: Zum 100. Geburtstage Rühmkorffs. In: *Hannoverscher Anzeiger* 16/01/1903, p. 3 and 17/01/1903, p. 5 (Beilage).

Shiers, George (1971): The Induction Coil. In: *Scientific American* **Vol. 224**, No. 5, pp. 80–87.

The New Encyclopædia Britannica. (2002) Vol. 10. Chicago et al. 2002, p. 236.

Uppenborn, Friedrich (1888): *Geschichte des Transformators.* München: Oldenbourg, pp. 6–8.

Vapereau, Gustave (1880): *Dictionnaire universel des contemporains.* Paris: Hachette (5 éd.), p. 1592.

Verne, Julius (1870): Vingt mille lieues sous les mers. Paris: Hetzel (in German: Zwanzigtausend Meilen unter den Meeren: zwei Teile. Wien: Hartleben 1875).

Verne, Julius (1871): Voyage au centre de la terre. Hetzel. Paris (in German: Reise nach dem Mittelpunkt der Erde. Wien: Hartleben 1874).

Verne, Julius (1872): De la terre à la lune. Trajet direct en 97 heures 20 minutes. Hetzel, Paris (in German: Von der Erde zum Mond: directe Fahrt in 97 Stunden 20 Minuten. Wien: Hartleben 1874).

Weiler, Wilhelm (1923): Die galvanischen Induktionsapparate. Leichtfaßliche Anleitung zur Anfertigung, Erhaltung und Berechnung der Rühmkorff-, Tesla- und medizinischen Rollen, deren Verwendung mit Geißler- und Röntgen-Röhren in physiologischen und Hertzschen Versuchen, Funkentelegraphie, Spektroskopie, Zündungen usw. Leipzig: Schäfer (3. Auf"|lage).

Wilke, Arthur (1898): Die Elektrizität, ihre Erzeugung und ihre Anwendung in Industrie und Gewerbe. Leipzig: Spamer, p. 86.

Williams, Trevor T. (ed.) (1969): A Biographical Dictionary of Scientists. London: Black.

Wüger, Hans (1977): Heinrich Daniel Rühmkorff. In: *Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins* **68**, p. 1288.

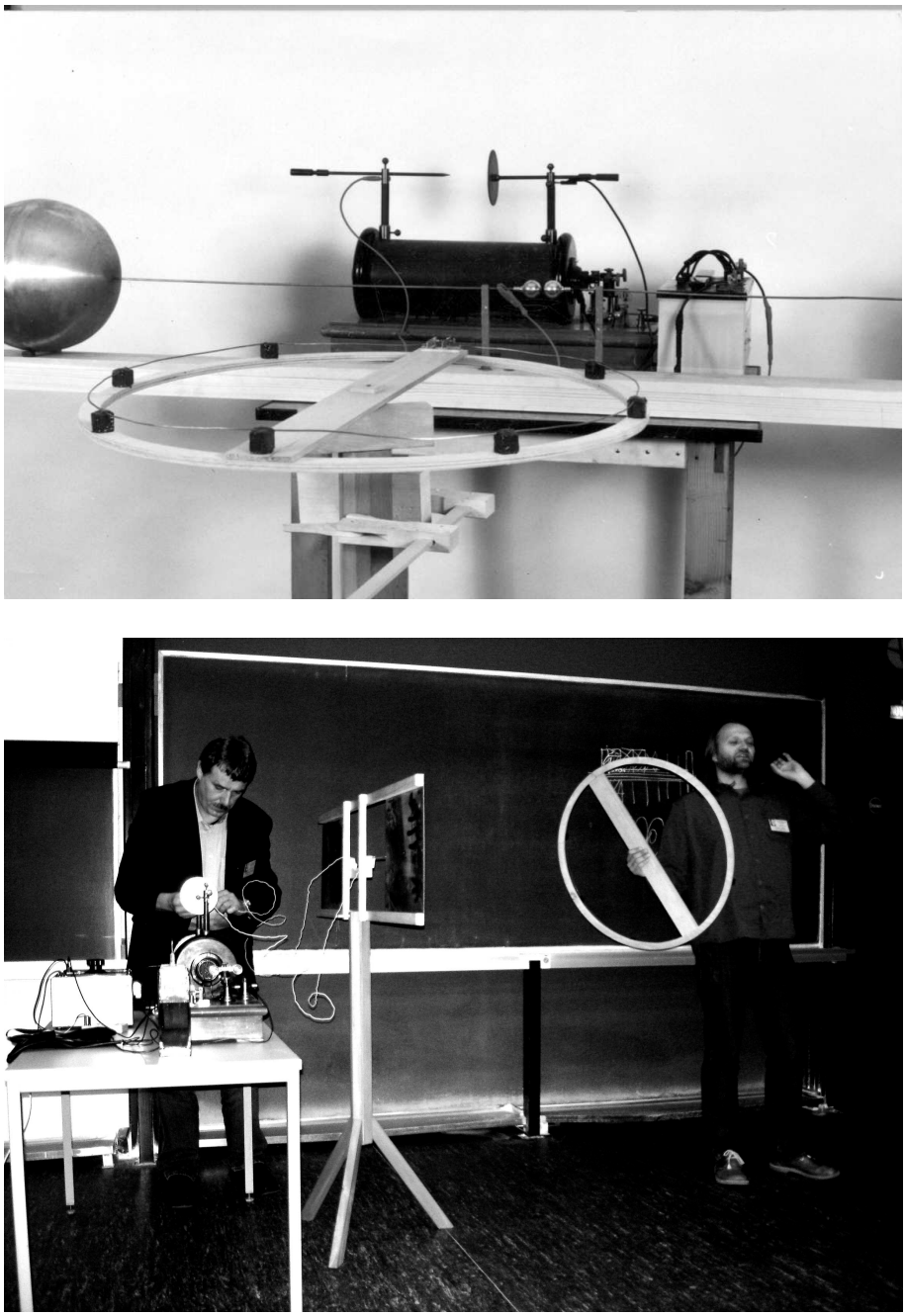


Figure 12.1:
Replicating the Early Hertz Experiments
Foto: Roland Wittje and Gudrun Wolfschmidt

What Went on in the Laboratory? Replicating the Early Hertz Experiments

Roland Wittje (Trondheim/Regensburg), Wolfgang Engels (Oldenburg)

Abstract: Replikation der frühen Hertz-Experimente

More than ten years ago at the University of Oldenburg, Roland Wittje replicated Hertz's early experiments on the propagation of electric force. We will give a brief introduction to this replication and what we learned from it about the original experiments, as well as about experimental practices of the late 19th century. Main questions are: What was Hertz's starting point? How did his ideas and his experimental practices change? How do we read laboratory notes and publications differently if we actually want to do the experiment? And, not the least, which aspects of the experiment were part of common experimental practices and are therefore not made explicit in the written sources?

We will then demonstrate one of the replicated experiments. The audience will be able to get their own experience of how it sounded, smelled and looked. The original experiments are not especially suited for the lecture hall, but we believe that the audience will appreciate seeing for themselves the tiny sparks in the resonator. In addition, distinguished members of the audience will become an integral part of a very simple detector that is more suited for demonstration. Be prepared![1]

[1] The experiments, which where presented by Roland Wittje and Wolfgang Engels during the symposium im October 2007, are documented on a DVD: Handwerk, Agnes und Harrie Willems: *Allein mit der Natur. Heinrich Hertz – Experiment und Theorie.* DVD Hamburg 2008.

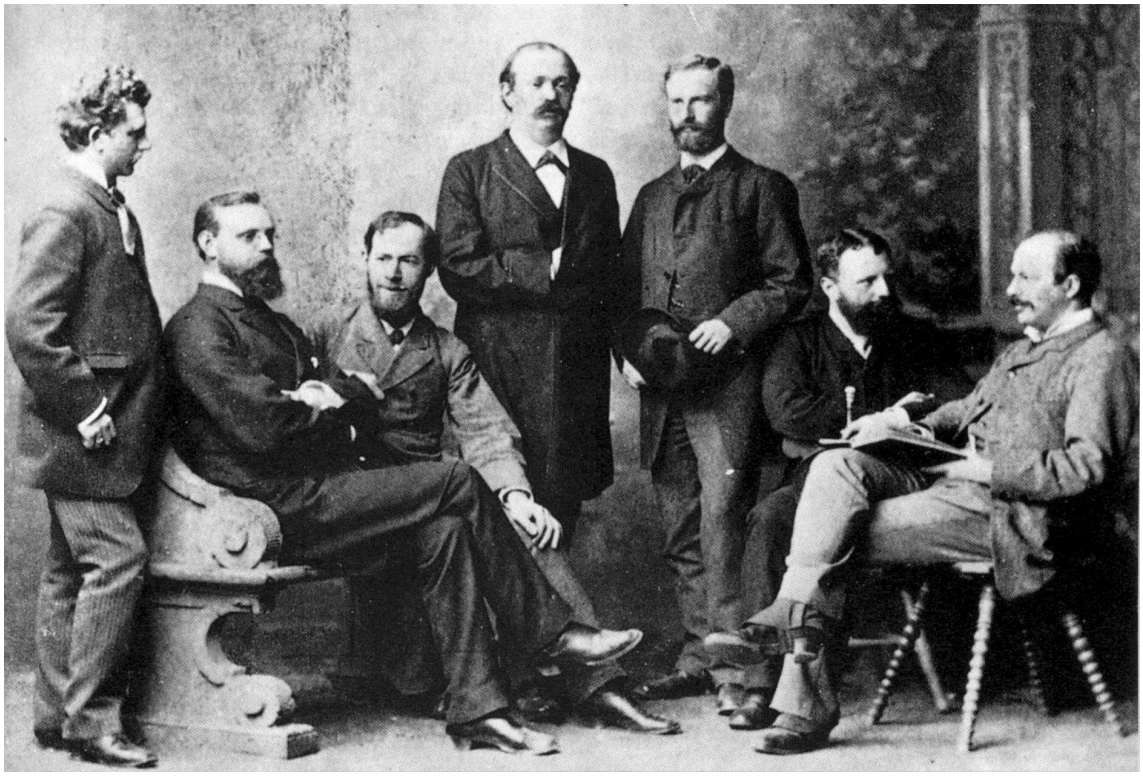
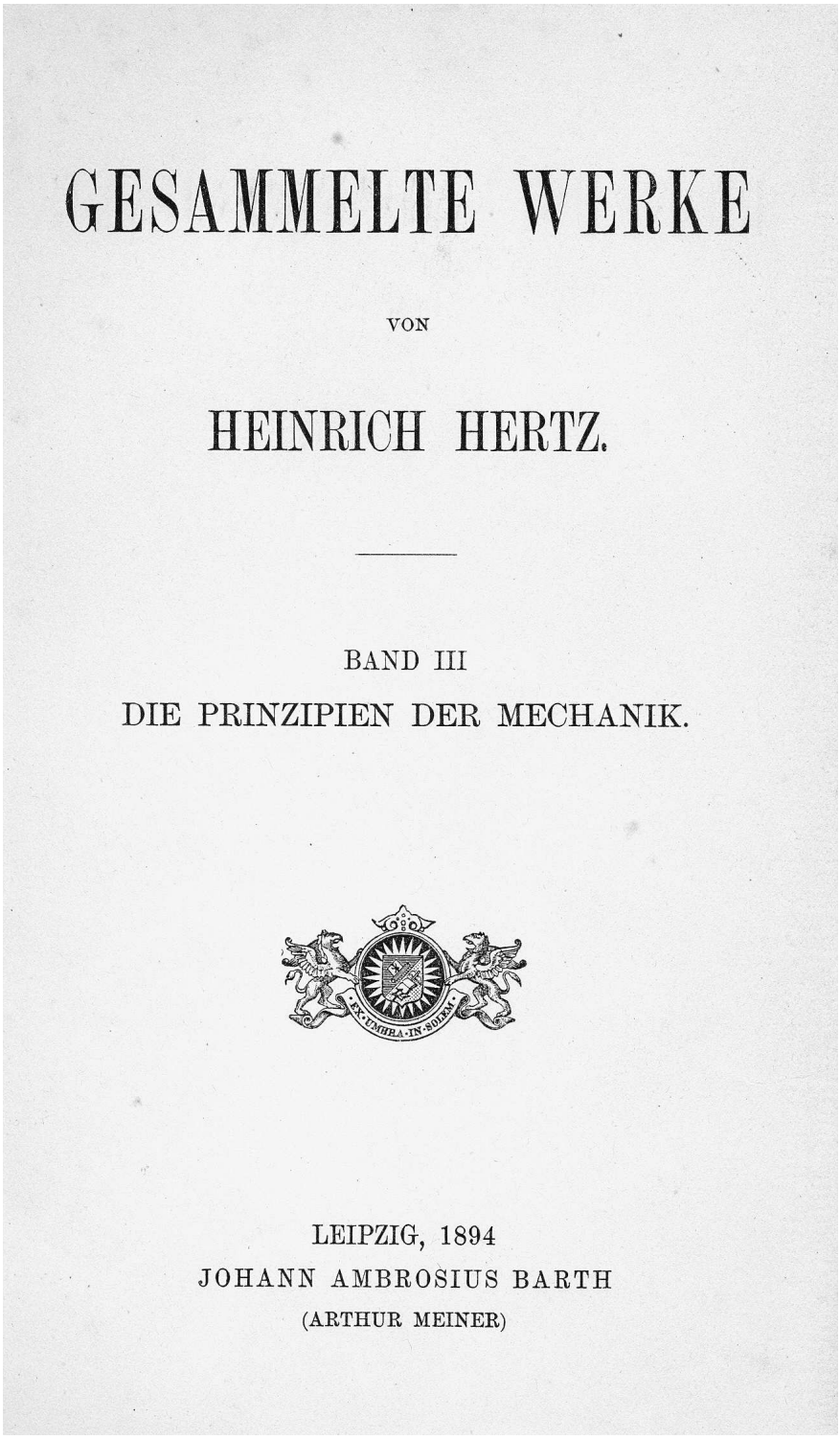


Figure 12.2:
Heinrich Hertz and his colleagues

HEINRICH HERTZ – PRINCIPLES OF MECHANICS



GESAMMELTE WERKE

VON

HEINRICH HERTZ.

BAND III

DIE PRINZIPIEN DER MECHANIK.

LEIPZIG, 1894

JOHANN AMBROSIUS BARTH

(ARTHUR MEINER)

Figure 13.1:
Hertz, Heinrich: *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt.*
Gesammelte Werke. Band III. Mit einem Vorworte von Hermann von Helmholtz.
Leipzig: Barth 1894.

The Geometric Aspects of Hertz's Prinzipien der Mechanik

Jesper Lützen (Copenhagen)

Abstract: Die geometrischen Aspekte von Hertz' Prinzipien der Mechanik

Das posthum veröffentlichte Werk von Hertz, *Prinzipien der Mechanik*, ist berühmt für seine philosophische Einleitung und für sein Vermeiden des Kraftbegriffs als grundlegendes Konzept. In diesem Artikel will ich den Schwerpunkt auf ein drittes Merkmal von Hertz' *Mechanik* legen, nämlich seine geometrische Form. Hertz entschied sich, das mechanische Bild der physikalischen Welt zu formulieren in Form von – wie er es nannte – „einer Geometrie eines Systems von Punkten", was wir nun als Differentialgeometrie von Raumstruktur bezeichnen würden. Er betonte, daß der physikalische Inhalt seines Bildes und die geometrische Form, die er für seine Darstellung gewählt hat, unabhängig voneinander sind, aber daß sie sich gegenseitig unterstützen. Im diesem Artikel werde ich die grundlegenden Eigenschaften von Hertz' Geometrie eines Systems von Punkten darstellen und analysieren wie sie mit dem physikalischen Inhalt des Buches zusammenwirken. Ich werde seine Geometrisierung der Mechanik mit den früheren Versuchen von Mathematikern wie Lipschitz, der sein Kollege in Bonn war, vergleichen. Außerdem werde ich untersuchen wie Hertz seine höherdimensionale nicht-euklidische Geometrie eines Systems von Punkten einführen konnte und gleichzeitig fordern konnte, daß der Raum a priori dreidimensional und nicht-euklidisch sei.

13.1 Introduction

During the last three years of his life Heinrich Hertz (1857–1894) completed a book on theoretical mechanics: *Die Prinzipien der Mechanik in Neuem Zusammenhange dargestellt*. It was published posthumously in the year of his death by his last assistant Philipp Lenard (1862–1947) and was prefaced by his teacher and mentor Hermann von Helmholtz (1821–1894). It contained three novelties:

1. A new philosophy of physics that explained physical theories as images (Bilder) of the external world.
2. A mechanical theory that did not deal with the concept of force or energy as basic concepts but only as derived notions.
3. A theory of mechanics expressed in a differential geometric form.

The last novelty is the least studied of the three, but it is arguably the most lasting one. In 1902 Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928) took up this idea in a paper entitled: "Some considerations on the principles of dynamics, in connection with Hertz's Prinzipien der Mechanik" (Lorentz 1902). He questioned whether Hertz's hidden systems of masses, that replaced forces or energy as the basic concepts in Hertz's mechanics, would lead to a clear and satisfactory view of natural phenomena but argued:

"On the contrary, it seems hardly possible to doubt the great advantage as to conciseness and clearness of expression that is gained by the mathematical form Hertz has chosen for his statements." (Lorentz 1902, 1)

Lorentz then continued his paper with an account of how Hertz's differential geometric formalism can be transferred to the ordinary account of mechanics including forces.

In this paper I shall focus on Hertz's geometrization of mechanics. In particular I shall:

1. explain the main idea of Hertz's "geometry of systems of points",
2. analyze how Hertz combined this geometrization with a Kantian belief in the a priori nature of geometry of space,
3. discuss the connection between the geometric form and the physical content of Hertz's Principles of Mechanics,
4. compare Hertz's geometrization with related ideas by earlier 19th century mathematicians.

13.2 Hertz's geometry of systems of points

The main idea of Hertz's geometrization of mechanics is to treat a mechanical system as one point in a high dimensional space, the space that we now call the configuration space. Hertz's mechanics deals exclusively with systems of finitely many (say n) point masses. Denoting the Cartesian coordinates of the μth point mass by $(x_{3\mu-2}, x_{3\mu-1}, x_{3\mu})$ the system as a whole is described in the $3n$ dimensional configuration space by the coordinates $(x_1, x_2, x_3, \cdots, x_{3n})$. If the system is displaced an infinitesimal amount to the configuration having the coordinates $(x_1 + dx_1, x_2 + dx_2, x_3 + dx_3, \cdots, x_{3n} + dx_{3n})$ Hertz defined the length ds of the displacement by the equation

$$mds^2 = \sum_{\mu=1}^{3n} m_\mu dx_\mu^2 \tag{2.1}$$

where $m_{3\mu-2} = m_{3\mu-1} = m_{3\mu}$ denote the mass of the μth point mass and m denotes the total mass of the system. This is the fundamental line element in Hertz's "geometry of systems of points" as he called it. He often described the configuration of the system in generalized coordinates $q_1, q_2, q_3, \cdots, q_r$. Then the line element can be expressed as a general positive quadratic form

$$ds^2 = \sum_{\rho=1}^{r}\sum_{\sigma=1}^{r} a_{\rho\sigma} dq_\rho dq_\sigma. \tag{2.2}$$

Hertz also introduced a measure of the angle (s, s') between two infinitesimal displacements ds and ds'. In Cartesian coordinates it is defined by the formula

$$mdsds' = \sum_{\mu=1}^{3n} m_\mu dx_\mu dx'_\mu \tag{2.3}$$

and in generalized coordinates by the formula

$$dsds' \cos(s, s') = \sum_{\rho=1}^{r}\sum_{\sigma=1}^{r} a_{\rho\sigma} dq_\rho dq_\sigma. \tag{2.4}$$

In terms of this concept of angle Hertz defined the curvature of a path of the system as $\frac{d\varepsilon}{ds}$ where $d\epsilon$ is the angle between two infinitesimal displacements along the path in two points separated by the distance ds. Hertz could then define the fundamental notion of a straightest path: It is a path that in each of its points has a smaller curvature than any other possible path through this point and in the same direction. Possible paths are paths along which the displacements satisfy a certain system of first order homogeneous differential equations that Hertz called the rigid connections of the system. Having also defined a notion of velocity for mechanical systems and the derived notion of uniform motion Hertz could formulate the one and only fundamental law in his mechanics:

Fundamental Law

Every free system persists in its state of rest or of uniform motion in a straightest path. This law of motion only appeals to rigid connections and not to forces. Hertz was aware that the motion of many known mechanical systems would not be described correctly by this law if it was applied to the visible (or tangible) masses of the system. But instead of introducing a new basic notion of force (or potential energy) he assumed that in addition to the ordinary masses that we can see and feel, there are hidden masses in the system. These hidden masses are just like ordinary masses and enter the geometric formalism in the same way. The only difference is that the hidden masses are not hooked up to our sensory apparatus the way ordinary masses are. They can only be perceived indirectly through their influence on the motion of the ordinary masses.

Thus according to Hertz's image of mechanics, a mechanical system consists of ordinary and hidden masses. They interact with each other through rigid connections. The purpose of mechanics is to describe the motion of the system of ordinary masses without

appealing to any detailed knowledge of the hidden system. The main purpose of Hertz's technical argument in the book was to show that the motion of the ordinary system could be described by the usual laws and principles of mechanics if one defines forces on the ordinary masses as the Lagrange multipliers arising from their connections to the hidden system and defines the potential energy of the ordinary system as the kinetic energy of the hidden system. This requires that the hidden system is what Hertz calls an adiabatic cyclic system and is only correct in an approximate sense, the approximation being good if the hidden system moves fast compared to the ordinary system.

Thus, the main point of the physical content of Hertz's mechanics is that force and potential energy are only epiphenomena arising from the fundamental connections to a hidden system.

13.3 The nature of geometry

To a modern reader Hertz's geometry of systems of points is ingenious and unproblematic. It is an application of the theory of non-Euclidean Riemannian geometry of high dimensional space. However, such a view would have been problematic to Hertz. While still a student in München he expressed his great reservations toward the new ideas of geometry:

> *"The entire new mathematics (from about 1830 on) is, I think, of no great value to the physicist, however beautiful it may be intrinsically, for I find it so abstract, at least in parts, that it no longer has anything in common with reality; for instance, the non-Euclidean geometry, which is based on the assumption that the sum of the angles in a triangle need not be always equal to 2 right angles, or geometry dealing with space of four, five, or more dimensions etc. Even the elliptical functions are, I think, of no practical value. But perhaps I am mistaken."* (Letter to his parents 1877, Hertz 1977, 71–72)

Did Hertz discover that he was mistaken? In a fundamental way he did not change his mind. In the *Principles of Mechanics* he maintained that space is a priori 3-dimensional and Euclidean in the sense of Kant and he remained somewhat skeptical of high dimensional space:

> *"It has long since been remarked by mathematicians that Hamilton's method contains purely geometrical truths, and that a peculiar mode of expression, suitable to it, is required in order to express these clearly. But this fact has only come to light in a somewhat perplexing form, namely, in the analogies between ordinary mechanics and the geometry of space of many dimensions, which have been discovered by following out Hamilton's thoughts. Our mode of expression gives simple and intelligible explanation of these analogies. It allows us to take advantage of them, and at the same time it avoids the unnatural admixture of supra-sensible abstractions with a branch of physics."* (Hertz 1894, 39/32–33)

As is clear from this quote, Hertz clearly distinguished between high dimensional Riemannian geometry as introduced by the mathematicians and his own geometry of systems of points. Why did he make this distinction? To us Hertz's geometry of systems of points *is* a Riemannian space. However to Hertz Riemannian geometry is a theory of a priori possible physical space. Indeed this is how it was introduced by Riemann himself. But to Hertz such a theory is "perplexing" and "unnatural" because to him space is a priori 3-dimensional and Euclidean. His own geometry of systems of points, on the other hand, is not problematic, because it is not a theory of space. The objects of his geometry are not points in space but configurations of a mechanical system.

> *"Hence there arise many analogies with the geometry of space of many dimensions; and these in part extend so far that the same propositions and notations can apply to both. But we must note that these analogies are only formal, and that, although they occasionally have an unusual appearance, our considerations refer without exception to concrete images of space as perceived by our senses. Hence all our statements represent possible experiences; if necessary, they could be confirmed by direct experiments, viz. by measurements made with models. Thus we need not fear the objection that oin building up a science dependent upon experience, we have gone outside the world of experience."* (Hertz 1894, 36/30)

Thus we see that to Hertz the relation between Riemannian geometry and his geometry of systems of points was an analogy not an inclusion. His Geometry of systems of points was not an example of a Riemannian space but it was analogous to Riemannian geometry. He did not explain what he meant by analogy, but his use of the concept is compatible with the way it had been used earlier by his predecessor William Thomson and other British scientists. According to them, physical theories of completely different physical phenomena were analogous if they shared a common analytical description. For example heat conduction and the theory of electric potentials were analogous because they were both described by Laplace's equation. In this sense Hertz could have considered Riemannian geometry and his own geometry of systems of points as analogous because they share the same analytical formalism, namely the theory of quadratic differential forms, even though they deal with two separate things, namely space and mechanics respectively.

In this way Hertz could use the analytic formalism of Riemannian geometry while still maintaining that space is a priori Euclidean in Kant's sense.

13.4 Relations between the physical content and the geometric form

The above argument may explain how Hertz could combine a Kantian concept of space with his revolutionary new use of differential geometry. But it does not clarify why he would choose such a geometric form in the first place. In fact, in the introduction to

the book he emphasized that from a logical point of view "the physical content is quite independent of the mathematical form" (Hertz 1894, 34/29). This may at first seem surprising since the formulation of the fundamental law of motion relies heavily on the geometric formalism. Yet, Hertz showed that his fundamental law was equivalent to a combination of Newton's first law and Gauss' principle of least constraints, and these two principles can of course be formulated in the ordinary language of mechanics.

Still, Hertz insisted that the physical content and the geometric form of his mechanics "are so suited that they mutually assist one another" (Hertz 1894, 34/29). They assist one another in at least three ways:

1. Both focus on the mechanical system as a whole.
2. The geometric formalism allows the simple and intuitively suggestive statement of the fundamental law.
3. One can easily see that Hamilton's method is a purely geometrical method.

Of these connections the first one is the most general and fundamental so let me spell it out in more detail: Ordinary treatises on mechanics tend to begin with a chapter on the motion of one point mass. Since ordinary mechanics operate with forces, there is something interesting one can say about one point mass moving in a force field. In Hertz's mechanics, on the other hand, there are no forces, and so there is nothing interesting to be said about the motion of one point mass. Instead one has to consider a system of points from the very start. Also the geometry of systems of points focus naturally on the system as a whole and makes it evident that one can describe its motion in a way similar to the ordinary description of the motion of one point mass. In the introduction to the *Principles of Mechanics* Hertz explained how one may naturally be led from a notion of "position (and motion) of a system of points" (Hertz 1894, 34/29) to his concept of a geometry of systems of points. This may explain how Hertz came upon the idea of his geometry of systems of points in the first place.

In fact in the process of conceiving the *Principles of Mechanics* the physical content and the mathematical form interacted more strongly than Hertz himself suggested in the introduction to the book. Indeed on the basis of Hertz's preserved drafts of the book one can point to instances where the geometric form influenced the physical content in a decisive way and conversely instances where the physical content gave rise to new interesting geometric notions. Let me briefly mention two such instances referring for the details to my book (Lützen 2005, 146–158 and 181–186).

Hertz's drafts of the *Principles of Mechanics* are kept in the Deutsches Museum. There are 4–5 consecutive drafts of most of the book, most of them pertaining to the geometry of systems of points and only two of them containing the philosophical introduction. These drafts reveal that Hertz introduced the concept of "Massenteilchen" in order to allow a derivation of the line element in his geometry of systems of points. Massenteilchen are identical point masses with an infinitesimal mass. In Hertz's image of mechanics finite point masses are build up from an infinity of such Massenteilchen, and the mass of a point mass is equal to the sum of the masses of the constituting Massenteilchen. From the published book one might get the idea that Hertz introduced these Massenteilchen

in order to account for the concept of mass (matter). However, as I have argued (Lützen 2005, 146–158), his drafts reveal that they were introduced in order to allow a deduction of the line element (2.1) in particular the masses entering into the weighted quadratic mean value. Indeed, he could rather easily derive this formula from the unweighted "Euclidean" formula for the distance expressed as an unweighted quadratic mean value of the displacements of all the Massenteilchen. Since the concept of Massenteilchen occurs at precisely this place in the manuscripts it seems rather evident that this part of his physical image of matter was introduced as a means to allow a natural deduction of the line element of the geometry of systems of points.

Conversely, one can argue that it was the usual principles of mechanics that forced Hertz to introduce the important concept of "reduced components" of vectors into his geometry. They correspond to the modern concept of contravariant components. Indeed, the first time Hertz derived Lagrange's and Hamilton's equations he discovered that they had a somewhat unusual form. It was in order to arrive at these equations in their usual form that he introduced the reduced components (see Lützen 2005, 181–182).

13.5 Hertz's geometrization compared with that of earlier mathematicians

Hertz seems to have been the first physicist who introduced a geometric formalism in mechanics and through the paper by Lorentz introduced the idea to 20th century physicists. However, earlier in the 19th century mathematicians such as Joseph Liouville (1809–1882), Ferdinand Minding (1806–1865), Rudolf Lipschitz (1832–1903), and Gaston Darboux (1842–1917) had introduced similar but different geometrical formalisms. The purpose of their works was to relate the Hamilton-Jacobi formalism in mechanics with Gauss's and later Riemann's work on intrinsic differential geometry. Their point of departure was the principle of least action. In Jacobi's formulation, which is already a geometrization in the sense that it does not contain the time-variable, the principle states that a conservative system with constant total energy h and potential energy U moves from a configuration1 to another configuration 2 along the path that minimizes the so-called action integral

$$A = \int_0^1 \sqrt{h-U}\sqrt{\sum_{\rho=1}^{r}\sum_{\sigma=1}^{r} a_{\rho\sigma}dq_\rho dq_\sigma} = \int_0^1 \sqrt{h-U}ds_H. \tag{5.5}$$

In the last integral I have introduced Hertz's expression ds_H (2.2) for the line element. If we define another line element ds_L by

$$ds_L^2 = (h-U)ds_H^2 \tag{5.6}$$

then the fact that the action (5.5) is a minimum, or more generally stationary can be expressed by the simple equation

$$\delta \int_1^2 ds_L = 0. \tag{5.7}$$

This equation says that the trajectory of the system is a geodesic in a Riemannian manifold with the line element ds_L.

This formulation can almost be found in a paper of 1872 by Lipschitz (that is why I have called the line element ds_L) and more explicitly in Darboux's treatment of 1888. Let us compare this geometrization og mechanics with that of Hertz. The mathematicians took the usual formulation of mechanics as their point of departure and then rephrased it in geometric terms. Hertz on the other hand started from scratch and introduced his geometric formulation from the beginning. For isolated systems where no forces act between the particles the potential energy is a constant, so $ds_L = ds_H$ and the two theories are the same. Systems that are usually described by forces acting between the particles are treated differently by Hertz and his mathematical colleagues: Hertz explains the interactions as a result of a hidden system. This gives rise to an extension of the sum in the line element (2.1) so that it ranges over the hidden system as well, but it does not change the form of the description. The mathematicians, on the other hand, included the forces (or equivalently the potential energy) into the expression of the line element and in this way obtained that the system move along geodesics. The idea of including the forces into the geometry anticipated the general theory of relativity and in this sense it was more daring than Hertz's geometrization. Still, the mathematicians only presented their geometrical formalism as a handy mathematical reformulation of the ordinary mechanics whereas Hertz presented his geometric formalism as an integrated part of a completely new approach to this science[1].

Was Hertz influenced by the mathematicians? Hertz's diary contain one entry that points in this direction. In fact, the first entry dealing with mechanics is from May 7th 1890 and reads: "Asked Lipschitz about the Hamiltonian principle" (Hertz 1977, 300–301). It seems highly probable that Lipschitz, who at the time was Hertz's mathematics colleague in Bonn, would use the occasion to tell Hertz about his earlier geometrical treatment of the principle of least action or Hamilton's principle. Still, another year passed before Hertz seriously set out on the research that eventually led to the composition of his *Principles of Mechanics*. In the preface of the book he explained that his investigations had made considerable progress by the time he became familiar with the works of Lipschitz and Darboux (Hertz 1894, Preface). This claim seems to be corroborated by Hertz's drafts of the book. They show how he gradually developed his geometry of systems of points, aparently without using anybody else's ideas. The discussion with Lipschitz may have planted the general idea of geometrizing mechanics in Hertz's mind, but it is also quite possible that this idea grew naturally out the system aproach to mechanics, the way I explained above. "Still" when Hertz learned about the works of Lipschitz, Beltrami and Darboux *"I found them very suggestive"* (Hertz 1894, Preface). He did not explain what the papers by the mathematicians suggested. The drafts make it rather clear that it was not the fundamental part of the formalism. Instead it may

[1] For more information on the geometrization of mechanics see (Lützen 1995)

have been the geometric treatment of the Hamilton-Jacobi formalism and in particular its intuitively suggestive treatment of the so-called principal and generating functions.

13.6 Conclusion

I have argued that the geometric formalism was one of the three fundamental novelties contained in Hertz's *Principles of Mechanics*. It was an integrated feature of the work that interacted with its other aspects in particular with the physical content. As indicated by Hertz's drafts it was the geometric feature of the book that he worked on most diligently. It may also be counted as the novelty that had the most long lasting impact. Through the work of Lorentz it became known and used in connection with the ordinary mechanics of forces, and today most advanced presentations of mechanics make use of a geometric formalism either in configuration space as suggested by Hertz or in phase space as suggested by Poincaré. The physical content, on the other hand soon lost its appeal not the least due to the appearance of the theory of relativity. Only the philosophical introduction may rival the idea of geometrization as a lasting contribution to our description of nature.

13.7 Literature

Darboux, Gaston: *Leçons sur la théorie génerale des surfaces.* 2. partie. Paris: Gauthier-Villars 1888.

Hertz, Heinrich: *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt.* Leipzig: Barth 1894. Gesammelte Werke Vol. 3 (1910). English translation: *The Principles of Mechanics Presented in a New Form.* New York: Macmillan 1900. Page references to the German/English edition.

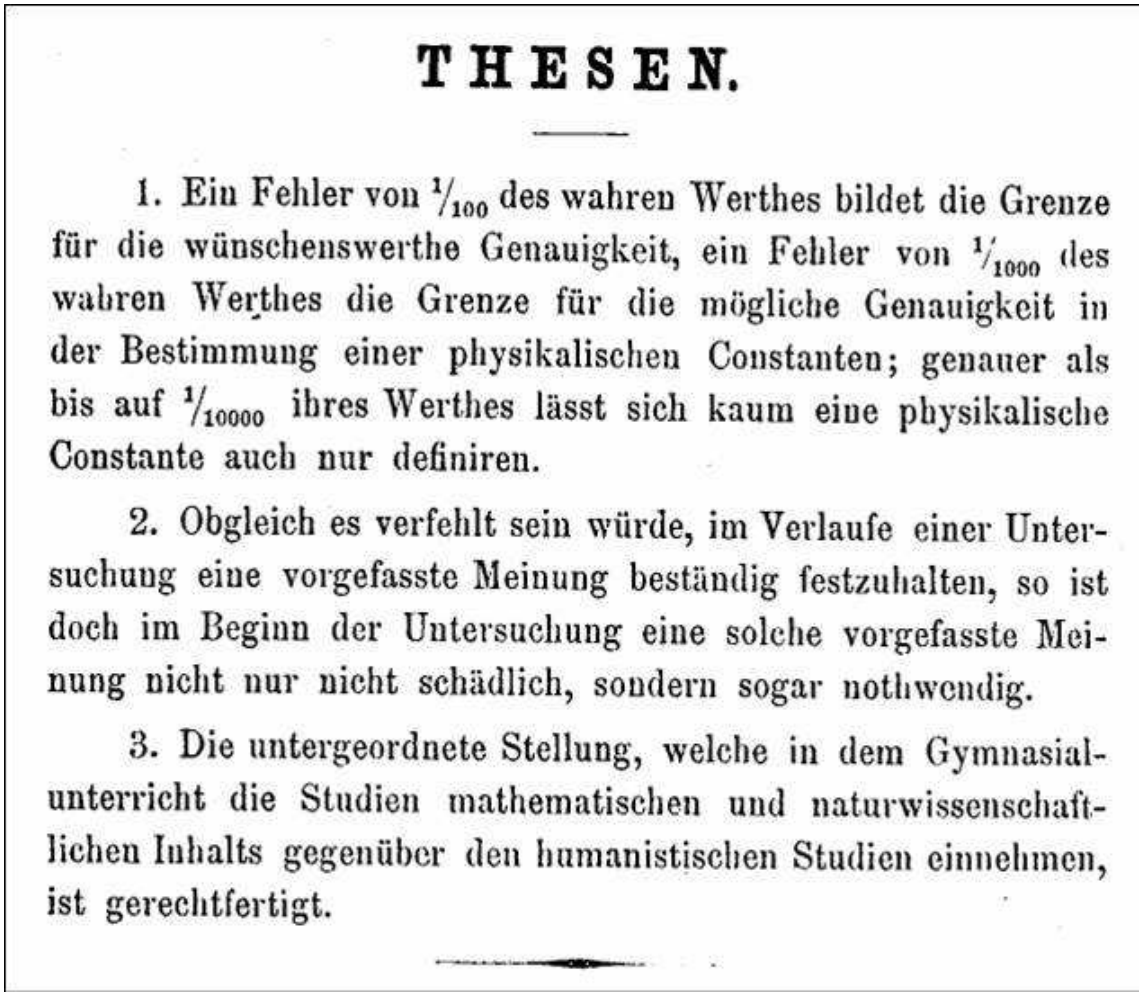
Hertz, Johanna: *Heinrich Hertz. Erinnerungen, Briefe, Tagebücher / Memoirs, Letters, Diaries.* Leipzig (1st edition) 1927. Weinheim: Physik Verlag / San Francisco: San Francisco Press (2^{nd} edition) 1977.

Lipschitz, Rudolf: Untersuchung eines Problems der Variationsrechnung, in welchem das Problem der Mechanik enthalten ist. In: *Journal für die reine und angewandte Mathematik* **74** (1872), p. 116–149.

Lorentz, Hendrik Antoon: Some considerations on the principles of dynamics, in connection with Hertz's Prinzipien der Mechanik. In: *Verslagen der Zittingen van de Wis- en Naturkundige Afdeeling der Koninklijke Akademie van Wetenschappen* **10** (1902), p. 876, *Amsterdam Proceedings* (1901–1902), p. 713; *Abhandlungen über Theoretische Physik* **I** (1907), p. 1–22.

Lützen, Jesper: Interactions between mechanics and differential geometry in the 19th century. *Archive for History of Exact Sciences* **49**(1) (1995), p- 1–72.

Lützen, Jesper: *Mechanistic Images in Geometric Form: Heinrich Hertz's Principles of Mechanics.* Oxford: Oxford University Press 2005.



THESEN.

1. Ein Fehler von $^1/_{100}$ des wahren Werthes bildet die Grenze für die wünschenswerthe Genauigkeit, ein Fehler von $^1/_{1000}$ des wahren Werthes die Grenze für die mögliche Genauigkeit in der Bestimmung einer physikalischen Constanten; genauer als bis auf $^1/_{10000}$ ihres Werthes lässt sich kaum eine physikalische Constante auch nur definiren.

2. Obgleich es verfehlt sein würde, im Verlaufe einer Untersuchung eine vorgefasste Meinung beständig festzuhalten, so ist doch im Beginn der Untersuchung eine solche vorgefasste Meinung nicht nur nicht schädlich, sondern sogar nothwendig.

3. Die untergeordnete Stellung, welche in dem Gymnasialunterricht die Studien mathematischen und naturwissenschaftlichen Inhalts gegenüber den humanistischen Studien einnehmen, ist gerechtfertigt.

Figure 14.1:
As was the custom, Hertz's doctoral examination involved the defense of three theses. In the third, Hertz is prepared to defend that high school instruction should favor the humanities over the sciences.

The Mechanics of Representation and the Problem of Life: The Philosophy of Heinrich Hertz

Alfred Nordmann (Darmstadt)

Abstract: Darstellungsmechanik und Lebensproblem – Heinrich Hertz als Philosoph

Der Philosoph Heinrich Hertz ist bislang kaum gewürdigt worden. Sein Theorienvergleich im Vorwort zu den *Prinzipien der Mechanik* wird etwa als Hinweis auf die Unterdeterminiertheit von wissenschaftlichen Entscheidungen gewürdigt, in die dann Fragen der begrifflichen Sparsamkeit und Angemessenheit hineinspielen. Ansonsten wird seine philosophische Bedeutung vor allem an seinem Einfluss auf Hermann Cohen, Ernst Cassirer und insbesondere Ludwig Wittgenstein gemessen. – Hier wird nun der Versuch unternommen, die *Prinzipien der Mechanik* als physikalisch-philosophisches Buch zu lesen, in dem die Grenzen der Wissenschaft systematisch bestimmt werden. Die Rekonstruktion des philosophischen Programms beginnt mit der Frage, warum die Eingeschränktheit seines Grundgesetzes der Mechanik von Hertz nicht als Mangel sondern als besondere Tugend seiner Physik dargestellt wird. Die Antwort lautet, dass seine Formulierung des Grundgesetzes die Trennung zwischen belebter und unbelebter Natur wahrt und die voraussagende Wissenschaft auf das Studium der unbelebten Natur beschränkt: Die Mechanik und alle Wissenschaft kann nur beharrliche Systeme beschreiben, die keine Sprünge machen und nicht aus sich heraus spontane Bewegungsimpulse produzieren – somit also keine lebendigen Wesen. Der Grund hierfür findet sich in der Mechanik der Repräsentation oder theoretischen Weltbeschreibung: Die Übereinstimmung von Geist und Natur setzt voraus, dass der menschliche Geist dynamische Modelle entwickelt, die sich weiterdenken und auf Voraussagen hin durchrechnen lassen – die also wie die unterstellten mechanischen Systeme der unbelebten Natur vor allem auf ihrer berechenbaren Bahn verharren.

14.1 A Philosophical Program

A suggestive change took place in a 2008 addition to the *Dictionary of Scientific Biography*. The entry on Heinrich Hertz introduced him as a physicist who lived from 1857 to 1894 until supplementary volume 21 of the *Complete Dictionary of Scientific Biography* began listing his fields as "physics, philosophy". Indeed, one can say that Hertz became recognized as a philosopher in his own right only after the centenary of his death which saw the first scholarly monograph on his work (Buchwald 1994) and a conference on "Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher" (Baird, Hughes, Nordmann 1998). Just a few years later, Albrecht Fölsing published Hertz's lectures on *The Constitution of Matter* (Hertz 1999) which underscored his tenacious interest in the clarification and conceptual analysis of fundamental terms like "matter" and "force". In light of all this and more, the philosophical aspects of the *Principles of Mechanics* can no longer be ascribed to the illness that prevented Hertz from engaging in more experimental pursuits. Instead, they now appear to be fully integrated with the physical aspects of that work and as the summation of a life-long pursuit that can be traced back at least to Hertz's earliest student days when he heard Fritz Schultze lecture in Dresden about Kant's epistemology and the notion that the mind creates "*Scheinbilder*" of the world – an idiosyncratic term that would reappear in the Introduction to the *Principles of Mechanics*. Not even two years later, in January 1878, Hertz expressed in a letter to his parents that he was pondering conceptual issues, "and particularly the principles of mechanics (as the very words: force, time, space, motion indicate) can occupy one severely enough" (1977, 77). These conceptual issues obviously stayed with him until the very end of this life. He explicitly recognized their philosophical interest when he encouraged his publisher, in a letter dated November 23, 1893, to include among the potential readers of *The Principles of Mechanics* "the circle of philosophical readers" (quoted in Fölsing 1997, 509).

Until the 1990s, then, Hertz's philosophical significance consisted entirely in his reception by philosophers like Hermann Cohen, Ernst Cassirer and, in particular, Ludwig Wittgenstein. The following analysis avoids such detours and appreciates the *Principles of Mechanics* as a mature text that self-consciously pursues a subtle and comprehensive philosophical as well as physical program that considers the constitutive conditions and limits of science while situating the problem of life beyond these limits.[1] The strategy for showing this is simple enough: Upon a brief reconstruction of Hertz's physical argument in the *Principles of Mechanics* follows an analysis of its underlying philosophical commitments. After developing the fundamental law of mechanics, Hertz himself draws attention to its limitations. In these limitations he sees a specific virtue of his mechanics that goes far beyond the elimination of "force" as a basic concept and thus beyond the virtue merely of parsimony. An investigation of Hertz's reasons for delimiting mechanics and all of science will finally lead us to the insight that an appopriate representation of mechanics draws upon an appropriate conception of the mechanics of representation.

[1] By focusing on the *Principles of Mechanics*, I am excluding for now other aspects of Hertz's philosophy that are formulated in the context of his work on electric waves and the constitution of matter.

14.2 The Fundamental Law

The full title of Hertz's book is *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt*. It thus promises to develop a new context for the representation of the principles of mechanics. This new context is geometry and Jesper Lützen has shown with great care that the geometrization of mechanics is the most original achievement of Hertz since the call for a forceless mechanics did by no means originate with him (Lützen 2005, see Nordmann 2007). Another, considerably less formal way to describe this construction of a new context for the representation of the principles of mechanics is to say that Hertz sought out a plan or a system of rules that determines what mechanical motion is, how it can be described, and what a mechanical explanation looks like. Accordingly, he arrives at his single fundamental law of mechanics as a rule that allows him to refer phenomena in time to a conceptual structure that is independent of time. However, it is quite a long way that takes him there. Here is an extremely abbreviated synopsis of Hertz's path to this fundamental law.

The *Principles of Mechanics* divides into 2 books. The first book is entitled "Geometry and Kinematics of Material Systems":

> The subject-matter of the first book is completely independent of experience. All the assertions made are *a priori*-judgments in Kant's sense. They are based upon the laws of the internal intuition of, and upon the logical forms followed by, the person who makes the assertions; with his external experience they have no other connection than these intuitions and forms may have. (PM §1)[2]

In this first book Hertz provides formal definitions of time, space, and mass, and introduces material systems, the notions of possible and impossible displacements, straightest path, motion, velocity, momentum, acceleration, etc. The second book deals with the "Mechanics of Material Systems":

> In this second book we shall understand times, spaces, and masses to be signs for objects of external experience; signs whose properties, however, are consistent with the properties that we have previously assigned to these quantities either by definition or as being forms of our internal intuition. Our statements concerning the relations between times, spaces, and masses must therefore satisfy henceforth not only the demands of thought, but must also be in accordance with possible, and, in particular, future experiences. (PM §296)[3]

[2] In the remainder of this paper, Hertz's *Principles of Mechanics* (Hertz 1884 and 1956) will be cited PM followed by the paragraph number (§) that is identical for the English and German editions. In the case of preface and introduction, page numbers will be given for the English/German editions (in this order). Translations have been silently corrected where necessary.

[3] Hertz's division of books echoes Kant's division between the *Prolegomena* (or the *Critique of Pure Reason*) and the *Metaphysical Foundations of Natural Science*. According to David Hyder, however, it mirrors the division among the parts of the *Metaphysical Foundations* (Hyder 2003).

After introducing the concepts of time, space, and mass as determined by chronometer, scale, and balance respectively, Hertz states his single law of motion or rest which is to take the place and improve upon Newton's three laws:

> 308. We consider the problem of mechanics to be to deduce from the properties of a material system which are independent of time those phenomena which take place in time and the properties which depend on time. For the solution of this problem we lay down the following, and only the following, fundamental law, inferred from experience.
> 309. **Fundamental Law.** Every free system persists in its state of rest or of uniform motion in a straightest path.
> *Systema omne liberum perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directissimam.* (PM §§308–309, compare §§119f. and 307).

While it is fairly easy to see that the fundamental law was developed within a geometrized system for the representation of the principles of mechanics, it is not so clear as yet how this law can serve as a plan or rule for the representation of mechanical motions. It does so by orienting mechanics toward the natural motions within the totality of conceivable motions. In other words, it is a method of picking out the natural motions within a wider conceptual framework. With the general considerations of Book 1 thus began a gradual process of determining what is really the case. Book 1 began with conceivable or thinkable motion and used geometrical considerations to distinguish among the conceivable motions those that are physically or mechanically possible and impossible (PM §§11, 109–111). The kinematics of Book 1 continued this process by introducing a further constraint. Among the possible motions of a system, only those are lawfully possible which are independent of time, that is, possible at all times (PM §§119–120, 226–229). Among these lawful motions, finally, those consistent with the fundamental law are picked out as the natural motions (PM §312). The introduction of the law thus concludes a process of gradually zeroing in on natural motion, and the remainder of Book 2 is meant to show that "natural motion" is not only consistent with the fundamental law, but that it includes all and only actual motion (see PM, 39f./46f.).

The purpose of the law is therefore to provide something like a selection parameter that restricts science to the representation of all and only actually obtaining states of affairs, a representation that ascribes neither too much nor too little to the world. As a completely general fact, the law orients, economizes, or systematizes the description of the world. Accordingly, Hertz rejects the notion of a "complete explanation":

> The complete explanation of the phenomena of the material world would [...] comprise: (1) their mechanical or physical explanation; (2) an explanation of the fundamental law; (3) the explanation of those properties of the material world which are independent of time. The second and third of these explanations we, however, regard as beyond the domain of physics. (PM §314)

Rather than explain why something is this case or justify the choice of a system of representation, Hertz offers only a mechanical or physical explanation that refers a given

event in time to a system of representation which can pick it out as an actual motion and which can then calculate the further trajectory of this motion. It is thus the ability of the fundamental law to organize a complete description of all mechanical phenomena that makes it a law of nature. It has no further and no "deeper" explanatory role to play other than to coordinate features of the system of representation with features of the world as the system that is to be represented. This geometrization of mechanics replaces contingency by necessity; it thereby erases the temporal character of motion and, in a sense, time altogether.

As we have seen Hertz states that the problem of mechanics is to refer the phenomena which take place in time to time-independent properties of material systems (PM §§307–308). He does so by treating the passage of time not as a measurable reality against which other processes can be compared. Instead, the successive states of one material system (a chronometer) are co-ordinated with those of another (a system of points). This arbitrary co-ordination serves as a law of projection or transformation "by means of which we translate external experience, that is, concrete sensations and perceptions, into the symbolic language of our inner picture" (§302). While this rule of projection does not keep us from imagining "time" as a continuous quantity that is not itself dependent on any mechanical process, it renders senseless for the purposes of mechanics the question whether the chronometer provides a true or absolute measure of time: It is sufficient for the rule "to determine such measures as enable us to express without ambiguity the results of past and future experiences" (§304). As "time" becomes through coordination with a material devive part of our picture of presently given external objects, that picture becomes answerable to experience: We can predict that the system of points will change from state A to state B as the chronometer moves from its state A to state B. Not every imaginable system of points will yield to such predictions. But armed with Hertz's mechanics, experimental physics can distinguish within "the infinite world of phenomena" those "finite groups of masses which can exist independently as free systems" (§307) and to which the fundamental law applies straightforwardly.[4]

[4] Compare Hertz's definitions of "time" in Books 1 and 2. Book 1 provides a Kantian definition of time as *a priori* constitutive of experience: "The time of the first book is the time of our internal intuition. It is therefore a quantity such that the variations of the other quantities under consideration may be regarded as dependent upon its variation; whereas in itself it is always an independent variable" (PM §2). Book 2 specifies in which way temporal processes can become subject to scientific experience: "Time, space, and mass in themselves are in no sense capable of being made the subjects of our experience, but only definite times, space-quantities, and masses. Any definite time, space-quantity, or mass may from the result of a definite experience. We make, that is to say, these conceptions signs for objects of external experience in that we settle by what sensible perceptions we intend to determine definite times, space-quantities, or masses. The relations which we state as existing between times, spaces, and masses, must then in the future be looked upon as relations between these sensible perceptions. Rule 1. We determine the duration of time by means of a chronometer, from the number of beats of its pendulum. The unit of duration is set by arbitrary convention. To specify any given instant, we use the time that has elapsed between it and a certain instant determined by another arbitrary convention. This rule contains nothing empirical which can prevent us from considering time as an always independent and never dependent quantity which varies continuously from one value to another. [...] The three foregoing rules are not new definitions of the quantities time, space, and mass which have been completely defined previously. They present rather the laws of transformation

14.3 Limitations of the Fundamental Law

Hertz's introduction of the fundamental law is followed by considerations of its validity and scope, of its limitations and applicability. As for validity and scope, Hertz provides the following classification: First, there is a class of systems of bodies, notably the free systems[5], to which the law applies straightforwardly. "With regard to this class," Hertz writes, the fundamental law "represents a bare experiential fact" (PM §316). Conversely, since the fundamental law can solve any given problem regarding motion in these systems, such a problem would simply *be* a mechanical one (PM §324). To a second class of systems of bodies, the fundamental law can only be applied if appropriate assumptions are made. For certain unfree systems these assumptions involve hidden masses and motions. As regards this class, the fundamental law has the character of a permissible and probable hypothesis (PM §317).[6] Conversely, problems arising for this class can be *regarded as* mechanical problems (PM §325). The third and last class comprises those systems of bodies whose motions cannot be represented as consequences of the fundamental law. "Among these," Hertz writes, "are included all systems which contain organic or living beings" (PM §318). For this class, the fundamental law has the character of a permissible hypothesis. Conversely, if the permissible hypothesis proves insufficient to answer a question regarding the motion of such a system, "there must be a contradiction between the presuppositions of the question and the fundamental law," and "the question posed then cannot be considered a mechanical problem at all" (PM §318). In other words, if the fundamental law can solve a problem, that problem is or

---

by means of which we translate external experience, that is, concrete sensations and perceptions, into the symbolic language of the pictures of them which we form, and by which conversely the necessary consequents of this picture are again referred to the domain of sensible perceptions. Thus, only through these three rules can the signs time, space, and mass become parts of our pictures of external objects. Also, only by these three rules are they subjected to further demands than are necessitated by our thought. [...] There is, nevertheless, some apparent warrant for the question whether our three rules furnish true or absolute measures of time, space, and mass, and this question must in all probability be answered in the negative, inasmuch as our rules are obviously in part fortuitous and arbitrary. In truth, however, that question needs no discussion here, not affecting the correctness of our statements, even if we attached to the question a definite meaning and answered it in the negative. It is sufficient that our rules determine such measures as enable us to express without ambiguity the results of past and future experiences. Should we agree to use other measures, then the form of our statements would suffer corresponding changes, but in such a manner that the experiences, both past and future, expressed thereby, would remain the same" (PM §§297–298, 302, 304).

[5] "A material system which is subject to no other than internal and lawful connections is called a free system." (PM §122)

[6] Hertz appeals to hidden cyclical motions (PM §§594ff.) when he treats of systems "in which actions-at-a-distance, the forces of heat and other causes of motion, not always fully understood, are in operation. When we bring to rest the tangible bodies of such systems, they do not remain in this state, but on being set free enter into a state of motion again. Thus, apparently, they do not obey the law." Also, systems in which impulses occur do not satisfy the condition of continuity. In this case, the law can be applied on the "exceedingly probable hypothesis that all discontinuities are only apparent and vanish when we succeed in taking into consideration sufficiently small space- and time-quantities" (PM §317).

can be regarded as mechanical, and if a problem is mechanical, the law can solve it. Hertz therefore adds to his description of the three cases the following observation:

> [t]he fact that we may employ the fundamental law in the manner we do, is not to be regarded as a new experience in addition to the law, but is, as we have seen, a necessary consequence of the law itself. (PM §330)

Hertz's fundamental law is formulated in such a way that it picks out what it represents. That the world is describable by this law is entirely trivial – and this, of course, is a virtue of the law when one seeks a complete and true scientific representation that does not aspire to add content or depth but merely to describe. Though the fundamental law does not add anything to the synoptic description of the world and in that sense says nothing, it *does* say something about the world that there are some systems to which it applies immediately, others to which it applies if certain additional assumptions are introduced, and perhaps yet others which must be conceptualized as nonmechanical since to them the law may not apply at all.

If there are nonmechanical systems to which the law does not apply, these would be systems that include living organisms. According to the fundamtental law, mechanical systems are characterized by a simple continuance of motion or rest. In contrast, organisms appear to spontaneously generate motion and the fundamental law cannot describe this. Hertz must therefore ask about systems that include within them a living been that might spontaneously introduce a push or a pull upon some obejct. In that case, the question of the interaction between mechanical and nonmechanical systems might arise, a question addressed by Hertz in two remarks on the "Limitation of the Fundamental Law":

> 320. In a system of bodies which obeys the fundamental law there is neither any new motion nor any cause of new motion, but only the continuance of the previous motion in a given simple manner. One can scarcely help denoting such a material system as an inanimate or lifeless one. If we were to extend the law to the whole of nature [...] — "The whole of nature pursues with uniform velocity a straightest path," — we should offend against a feeling which is sound and natural. It is therefore more cautious to limit the probable validity of the law to inanimate systems. (PM §320)

Even when the probable validity of the law is limited to inanimate systems, however, this precludes in no way that one can still consider animate systems as conformable to the law (see PM §§317–318). Only "if it could be proved that living beings contradict the hypothesis [...] they would separate themselves from mechanics":

> In that case, but only in that case, our mechanics would require supplementing with reference to those unfree systems which, although themselves lifeless, are nevertheless parts of such free systems as contain living beings. (PM §321)

In other words, if living beings contradict the fundamental law, Hertz's mechanics would need to be amended to accommodate, for example, a human being who pushes or throws an object. Hertz suggests that this amendment could be formed

> from the experience that animate systems never produce any different results on inanimate ones than those which can also be produced by an inanimate system. Thus it is possible to substitute for any animate system an inanimate one; this may represent the former in any particular problem under consideration, and we may demand its specification in order to turn the given problem into a purely mechanical one. (PM §321)

Thus, if it should turn out that human or other animate beings are not mechanical systems and contradict the fundamental law, they can be represented by robots when they have an effect on an inanimate system, for example, by providing some kind of push: While their inner workings would be blackboxed as unmechanical, their interventions in inanimate material systems could still be treated as purely mechanical. Again Hertz adds an observation:

> In the usual presentation of mechanics such a qualification is considered superfluous and it is assumed with certainty that the fundamental laws extend equally to animate and inanimate nature. And this is indeed permissible in that usual representation, since one leaves the greatest degree of freedom to the forms of the forces which there enter into the fundamental laws, and reserves oneself an opportunity of explaining later and outside of mechanics, whether the forces of animate and inanimate nature are different, and what properties may distinguish the one from the other. Our presentation of the subject demands greater caution, since a considerable number of experiences which initially relate only to inanimate nature are already included in the fundamental law itself, and the possibility of a later demarcation is much more limited. (PM §322)

Hertz here underscores an important difference between his own and, for example, Newtonian mechanics. In the Newtonian picture, "force" appears right at the beginning as an undefined primitive term. Whatever impinges upon or alters a straight trajectory of continuing motion is a force, and this force may turn out to be gravitational attraction or a volitional push. In Hertz's mechanics, the term "force" is a derived concept that is introduced only late in the game. It serves merely as a short-hand expression once one considers the combined motion of coupled material systems: If the coordinates of two systems are determined in such a manner that one or more coordinates of one system remain equal to one or more coordinates of the other system (PM §450), if one then considers how each system persists in its state of rest or uniform motion (that is, conforms to the fundamental law), one can conceptualize as "force" the influence that one of the systems appears to independently exert upon the motion of the other (PM §455).[7] On this conceptualization of force, "one can scarcely help denoting" that each of the coupled material systems is "an inanimate or lifeless one" since each represents nothing but "the continuance of the previous motion in a given simple manner" (PM §320). Moreover,

[7] This paraphrase renders Hertz's definition more accurately than does the extant English translation: "Unter einer Kraft verstehen wir den selbständig vorgestellten Einfluß, welchen das eine von zwei gekoppelten Systemen zufolge des Grundgesetzes auf die Bewegung des anderen ausübt" (PM §455).

since force is restricted to contact-force, force and counter-force are from the start conceived as arbitrarily interchangeable (PM §456), preventing Hertz from assigning "cause" to one and "effect" to the other. His is thus a mechanics not just without force but also without causality and the fundamental law of his mechanics cannot be reduced to or derived from the causal law. But all of this puts his system at odds with "a feeling which is sound and natural" about human action that can spontaneously cause physical motions to occur.[8]

When Hertz acknowledges that the usual presentation of mechanics needs no qualifications and applies to animate and inanimate nature alike, while his presentation requires greater caution to accommodate animate systems, this may sound as if he was admitting a defect of his mechanics. However, the apparent defect turns out to be a virtue and the virtue is precisely that Hertz does not need to venture outside of mechanics to consider the nature of force in animate systems.

14.4 The Virtue of Limitations

According to Allan Janik, Hertz is committed to a principle of immanence: "[I]f philosophical problems arise *in* physics, then they must be handled in physics itself rather than in some theory *about* physics" (Janik 1994/95, 23). Such a concern with immanence does indeed motivate Hertz's *Principles of Mechanics* and indicates what the virtue of his mechanics is – especially since it allows him to delimit the domain of mechanics (and thus of science), leaving the "problem of life" outside of this domain.

It is well known that Hertz used the three criteria of (logical) permissibility, (empirical) correctness, and appropriateness when assessing the virtues of his own against two standard presentations of mechanics. About permissibility, all that needs to be said here is that where Hertz saw possible contradictions in the usual Newtonian presentation, he argues that his mechanics is free of contradiction.[9] As for correctness, the three pictures of mechanics can be taken to be empirically equivalent — at least as concerns the then-present state of knowledge.[10] This leaves finally the question of how appropriate a presentation of mechanics is, and this requires an elaboration of what Hertz means by "appropriateness".

All presentations of mechanics are certain kinds of pictures which have an internal dynamic structure through which informational input is processed into informational output. The relations between these inputs and outputs Hertz calls "essential relations." Mechanics has to get these essential relations right: The relationship between observational antecedents and consequents needs to agree with the represented or pictured an-

[8] Also, Hertzian forces always satisfy conservation of energy while he takes spontaneous action and freedom of the will to be non-conservative (PM pp. 10f./11f., 39/56f. and §§662ff.; compare Manno 1900, 42–46).

[9] Murat Baç maintains that permissibility serves as Hertz's decisive criterion (Baç 2000, 44 and 52). Others disagree whether Hertz really took issue with the permissibility of the Newtonian picture (Nordmann 1998a, 170 and Hentschel 1998, 219).

[10] At the very end of his Introduction to the *Principles* Hertz discusses what kind of evidence might decide between the various systems of mechanics (Nordmann 1998a, 163f.).

tecedents and consequents.[11] However, the internal structure of the picture also requires for the transformation of input into output "empty relations." These empty relations do not correspond to anything observable in nature but are necessary to generate accurate predictions (PM 2/2f.). Now, one theory is more appropriate than another i) if it contains fewer empty relations, that is, if it is simpler, and ii) if it sharply distinguishes the essential from the empty relations, that is, if it is more distinct.[12]

As for simplicity of use, Hertz readily admits that his conception of mechanics is rather complicated in practical contexts.[13] And as for conceptual simplicity, many of his contemporary critics as well as today's readers have wondered why one should consider simpler a mechanics that reduces the number of primitive terms by one, namely force, at the expense of appealing to hypothetical entities instead, namely hidden motions and masses (Mulligan 1998). According to Hertz, however, this trade-off reduces the number of empty relations: It pares down the conceptual apparatus of mechanics. "If we try to understand the motions of bodies around us," he explains,

> [w]e soon become aware that the totality of what we can see and grasp does not form a world conformable to law, in which the same conditions always have the same consequences. [...] If we wish to obtain a picture of the world which shall be well-rounded, self-contained, and conformable to law, we have to suppose, behind the things which we see, other, invisible things — to imagine confederates concealed beyond the limits of our senses.

A mechanical picture of the world thus requires the introduction of "empty relations," that is, relations between secret players who act behind the scenes and whose actions lie beyond the limits of sense and are therefore inaccessible in principle to experience. Hertz continues:

> These deeper-lying influences we acknowledged in the [traditional presentations of mechanics]; we imagined them to be entities of a special and peculiar

[11] Compare Hertz's famous statement: "We form for ourselves pictures or symbols of external objects; and we make them in such a way that the necessary consequents of the pictures in thought are always the pictures of the necessary consequents in nature of the things pictured" (PM 1/1). Upon closer scrutiny, this statement uses the term 'picture' ambiguously (and that ambiguity is dissolved only later when Hertz identifies "pictures" with "dynamic models"). Also, it appears to suggest that there is a necessity in nature that is somehow independent of or prior to its pictorial representation. Only the consideration of Hertz's further elaborations will clear this up.

[12] In his lectures regarding the constitution of matter, Hertz ran up against the problem that all conceptions of matter run together *a priori* and empirical elements – that is, that there is no distinct conception of matter (Hertz 1999).

[13] "The appropriateness of which we have spoken has no reference to practical applications or the needs of humankind. In respect of these latter it is scarcely possible that the usual representation of mechanics, which has been devised expressly for them, can ever be replaced by a more appropriate system. Our representation of mechanics bears towards the customary one somewhat the same relation that the systematic grammar of language bears to a grammar devised for the purpose of enabling learners to converse as quickly as possible about the necessities of daily life. One knows how different the requirements for these two purposes are, and how widely their arrangement must differ if each is to be properly adapted to its purpose" (PM 40/47f.). — This passage is central to Janik's contention that Hertz rehearses a hermeneutics of representation (Janik 1994/95).

> kind, and so, in order to reproduce them in our picture, we created the concepts of force and energy. But another way lies open to us. We may admit that there is a hidden something at work, and yet deny that this something belongs to a special category. We are free to assume that this hidden something is nothing else than motion and mass all over again, — motion and mass which differ from the visible ones not in themselves but in relation to us and to our usual means of perception. (PM 25/30)[14]

Once hidden entities have to be assumed, the simpler of two theories is the one that contains fewer empty relations and that does not ascribe mysterious properties to these hidden entities. In any event, the hidden masses and motions in Hertz's mechanics are hypothetical not in the sense that he posits them as objects of some conceivable future experience with vastly improved observational technology. Just like force or energy, they are hypothetical in that they are internal structural elements of the picture, of the net, not meant to pick out anything in the world.[15]

If simplicity concerns the number and nature of empty and ineluctably hypothetical relations, distinctness refers to the sharp separation of empty and essential relations, and thus to the precise determination of essential relations. Hertz's own presentation of mechanics is said to be distinct because it succeeds at delimiting the set of natural motions, admitting neither too much nor too little, while Newton's presentation admits motions that do not occur in nature and it thus fails to clearly specify those that do (PM 10/11f. and 39/46f.).[16] The criterion of distinctness thus expresses Hertz's interest in immanence as it was identified by Janik. Aside from being "well-rounded" and "conformable to law," the physical picture of the world is to be "self-contained" (PM 25/29f.): Science knows from experience what the natural motions are and will construct any number of

[14] Poincaré paraphrases this passage, adding: "N'est-ce pas plus simple et plus naturel?" By way of commentary, he then introduces a further consideration: If we follow Hertz and admit only non-mysterious entities in physics, we are perhaps more likely to delude ourselves that we can already explain everything: "On pourrait discuter sur ce point et soutenir que les entités des anciennes théories doivent être retenues précisément à cause de leur nature mystérieuse. Respecter ce mystère, c'est un aveu d'ignorance; et puisque notre ignorance est certaine, ne vaut-il pas mieux l'avouer que la dissimuler?" (Poincaré 1897, 247). The previous discussion has shown, however, that Hertzian physics limits itself in such a way that it cannot give rise to this delusion.

[15] Here I am disagreeing with John Preston's contribution to this volume and his suggestion that Hertz is a realist regarding hidden masses and motions, material and mass points. After defining "mass" in PM §300, Hertz adds in §301: "We also admit the idea that in addition to the bodies which we can handle there are also other bodies which we can neither handle, move, nor place on the balance and to which [the rule for the definition of mass] has no application. The mass of such bodies can only be determined by hypothesis. As concerns such masses that are to be assumed hypothetically, it is in our power to attribute nothing to them through the hypothesis which would contradict the properties of the conceptually defined mass." Especially the last sentence suggests that Hertz here prepares the ground for the discussion later on of hidden masses (PM §§595ff): These hidden masses are inaccessible to any physical experience whatsoever. No matter how much the technologies of weight-determination improve, the masses defined in $301 elude their grasp (PM §598).

[16] According to Hertz, the Newtonian presentation (in its original form) permits forces that violate the conservation of energy. Also, it is not limited just to such forces that are the sum of the actions of elementary forces with specific properties (PM 10/11f.).

systems of mechanics accordingly. Only a self-contained system assures, however that one does not have to step outside it anymore and consult experience to determine which of the permitted motions actually occur. Hertz therefore demands, that the limits of mechanics and its domain of application are drawn from within mechanics itself. The virtue of distinctness thus extends from the delimitation of the natural motions to the delimitation of the questions and problems of mechanics.

All of this allows us to see the various ways in which Hertz's elimination of "force" as a basic concept renders mechanics simpler and more distinct: The number of empty relations is reduced, and mechanics becomes more self-contained and no longer gives rise to vexing questions which cannot be answered by mechanics:

> [W]e have heaped upon the signs "force" and "electricity" more relations than can be completely reconciled amongst themselves; we have an obscure feeling of this, demand enlightenment, and express our confused wish by posing the confused question as to the nature of force and electricity. But this question is obviously mistaken in regard to the answer it expects. It cannot be satisfied through knowledge of novel and yet more relations and connections, but by removal of the contradictions among the extant ones; thus perhaps by reduction of the number of extant relations. When these painful contradictions are removed, the question as to the nature [of "force" and "electricity"] will not have been answered; but our mind, no longer vexed, will cease to ask what for it is an illegitimate question. (PM 7f./9)

The question concerning the nature of force is not the only philosophical problem solved or dissolved by Hertz as he articulates a distinct conception of mechanics, one that specifies its own limits. Echoing the previously quoted remarks on the limitation of the fundamental law, Hertz notes in his Introduction that "[I]t is surely a justified caution when in the [body of the] text we expressly limit the domain of our mechanics to inanimate nature, leaving it an entirely open question how far its laws extend beyond it" (PM 38/45). He continues here by elaborating why he considers this limitation of mechanics not a defect, but a virtue:

> [T]he same feeling which impels us to exclude from the mechanics of the lifeless world as foreign every suggestion of an intention, of a sensation, of pleasure and pain, – this same feeling makes us hesitate to deprive our picture of the animated world of these richer and more colorful conceptions. At least to a cursory estimation, our fundamental law – perhaps sufficient to represent the motion of dead matter – appears too simple and too limited to reproduce the manifold character of even the lowest process of life. That this is so seems to me not a disadvantage but rather an advantage of our law. Precisely because it affords us to synoptically view the whole of mechanics, it also shows us the limits of this whole. Precisely because it gives us only a fact without attributing to it the semblance of necessity, it lets us recognize that everything could also be different. (PM 38/45)

To see the limits of mechanics, to see the fundamental law as a completely general, yet merely descriptive proposition that applies only contingently to the world, avoids conceptual confusion.[17] Again, Hertz makes the contrast to the customary presentations of mechanics, in which

> the complete vagueness of the forces introduced leaves considerable degrees of freedom. There is a tacit proviso perhaps to determine later on a contrast between the forces of animate and inanimate nature. In our presentation, the outlines of the picture are from the start so sharply delineated, that deeply pervasive divisions can hardly be introduced retroactively. (PM 38f./45f.)

Hertz thus insists twice – in his Introduction and the body of the work – on the clear demarcation in his mechanics between the animate and the inanimate. He divorces the entire domain of physics from the problem of life. He thereby divorces from physics also the then most popular philosophical speculation about the nature and limits of science, namely the discussion prompted by Emil DuBois Reymond's *Die sieben Welträtsel* of 1882.[18] That discussion lasted well into the twentieth century, and the *Lebensproblem* or problem of life was among DuBois Reymond's seven riddles or scientifically intractable puzzles. Its discussion involved not only mechanism, vitalism, and energeticism, but also anthropomorphized conceptions of physical force on the one hand (PM 12/15), and on the other hand the promise of science to identify the life force which distinguishes animate from inanimate nature.[19] By divorcing physics from this host of issues, Hertz rejects such physical or philosophical temptations.[20]

[17] This formulation only appears to contradict the remark above according to which the fundamental law offers a complete account that is trivially true: The law would be true of all mechanical motion even if no such motions were to be found. But it is a contingent experiential fact that all natural motions of inanimate systems can be treated as mechanical motions by the fundamental law. (This tension is characteristic of all conceptions of law in the Kantian tradition.)

[18] Hertz knew DuBois Reymond and his work (Fölsing 1997, 82, 111).

[19] Compare PM 6/7 where Hertz suggests an altogether unfavorable parallelism between the "*lebendige Kraft*" or *vis viva* and centrifugal force, which – according to Hertz – "takes the effect of inertia into consideration twice, namely first as mass, secondly as force." He continues: "In our [Newtonian] laws of motion force was the cause of motion prior to the motion. May we now suddenly speak, without confusing our concepts, of forces which only arise through motion and which are a consequence of motion? May we create the impression as if our laws had already said something about this new kind of forces, as if by calling something 'force' we already endow it with the properties of force?" If, as in the case of *vis viva*, this centrifugal force is an "unreal" force, our calling it force cannot be justified, only "excused" by appeal to "historical tradition." And in both cases, what gives rise to the confusion is the temptation to anthropomorphize, that is, to animate the notion of "force," for example, by unduly projecting the experience of whirling a stone at the end of a rope into the orbits of satellites around central bodies (PM 12/15). – According to Simon Saunders (and perhaps Ernst Mach), Hertz's conceptual critique of centrifugal force constitutes an "embarrassingly bad argument" (Saunders 1998, 152, compare PM 8f./9f.).

[20] A more detailed examination would relate Hertz's distaste of DuBois Reymond's *Welträtsel* to his distinterest in sense physiology, comparative psychology, and Darwinism. This investigation would also consider his relation to Helmholtz and Mach, his dismissive attitude toward psycho-physics, and (especially relevant for the *Principles of Mechanics*) his criticism of Helm's and Ostwald's energeticism (for all of this see Fölsing 1997).

14.5 The Mechanics of Representation

On first sight, Hertz's argument is directed only against the vitalisms and mechanicisms of his day, and he therefore concerns himself only with the possibility, in principle, of non-mechanical systems, with the intellectual illegitimacy of a so-called life force or otherwise anthropomorphized conceptions of mechanical force, and with the inability of mechanics to account for even the lowest processes of life. As we have seen already, his argument against certain tendencies of his day was motivated by a larger philosophical program. Hertz wants to sharply distinguish essential from empty relations, that is, to discover in our pictures of the world what in them refers to "an inner intellectual world of conceptions and ideas" with its "colorful" attributes of "intention, sensation, pleasure and pain," and what in these pictures refers to "the cold and alien world of actual things" and "the motion of dead matter" (PM 2f./3, 38/45f. and Hertz 1896, 335). Working from within the descriptive science of mechanics, this program ends up taking Hertz beyond mechanics to an account of what is knowable by any science.

When Hertz identifies the limits of mechanics with the limits of physics and the limits of science, he does this without generalizing from mechanics to other sciences, and without invoking a metaphysical reductionism according to which everything boils down to physics, in general, and mechanics, in particular. Instead, mechanics serves Hertz as the paradigm for any and all descriptions of the world: The ontological presuppositions and epistemological limits of mechanics coincide with the ontological presuppositions and epistemological limits of all descriptive representations of the world. [21]

As we have seen, the fundamental law offers a synoptic description of all natural motion: It provides a rule by which features of a physical state can be coordinated with features of a model or system of representation. The descriptive power as well as the limits of mechanics are thus associated with a general feature of all scientific representation, namely the making of a model that corresponds to a natural system. Hertz shows that this kind of modeling doesn't just happen in mechanics as it does in all the other sciences. Instead, mechanics elucidates the general relation of constructed model and the state of nature that is to be represented and that becomes presentable through the representation. The very idea that our mind can create dynamical models which describe and predict natural motions by referring processes in time to time-independent structures, invokes a mechanics of representation which simultaneously underwrites the principles of mechanics and is elucidated, if not justified by these principles.

Hertz establishes all this in a section of the *Principles of Mechanics* that deals with "Dynamical Models". Their definition includes the requirement that two material systems are models of one another only if they have the same number of coordinates (PM § 418). If the relationship between a representation and a represented state of nature is defined

[21] Jesper Lützen attributes to Hertz the view that all of nature is "one connected mechanical system" (Lützen 2005, 5 and see also 30, 38–39, 191). Hertz can surely be called a mechanicist in that he takes nature to be a mechanical system to the extent that it is scientifically intellible at all (and *vice versa*). However, Hertz did not hold the metaphysical position that all of nature could or should be reduced to mechanics.

by their sharing the same number of distinctive characteristics, their relationship is symmetrical. In a first corollary to his definition, Hertz therefore notes:

> If one system is a model of a second, then, conversely, the second is also a model of the first. If two systems are models of a third system, then each of these systems is also a model of the other. The model of the model of a system is also a model of the original system. (PM § 419)

The second corollary furthers the impression that one cannot get out of a system of representation once it is established. The definition of the dynamical model does not allow for any comparative judgment about the two systems, that is, the model exists just as soon and only as long as the required correspondence of coordinates happens to obtain. Hertz writes:

> The property of a system of being a model of another does not depend on the choice of co-ordinates of the one or the other system, even though this property becomes immediately evident only upon a certain choice of co-ordinates. (PM § 420)

In a final corollary Hertz notes that "a system is not completely determined by the fact that it is a model of a given system," since, in order to be dynamically similar, the two systems need not consist of the same kind of stuff (PM § 421). Indeed, a representational system consists of symbols whereas the represented system consists of material points. In order to be models of one another, the two systems need to be dynamically similar only in the one respect of the chosen coordinates and can be different in all others. Their similarity-relation is the essential relation, it either obtains or it does not obtain, and this can be determined unambiguously. Their differences, in contrast, remains opaque and unknowable:

> [I]t is generally impossible to carry our knowledge of the connections of natural systems further than is involved in specifying models of the actual systems. We can then, in fact, have no knowledge as to whether the systems which we consider in mechanics agree in any other respect with the actual systems of nature which we mean to be considering, than in this alone, — that the one set of systems are models of the others. (PM § 427)

Since the various mechanical pictures of the world also contain empty relations, namely assumptions about forces or hidden masses and motions, one cannot know whether agreement with nature extends to these assumptions. Accordingly, Hertz derives from his mechanics a general epistemological conclusion regarding the limits of knowledge:

> The relation of a dynamical model to the system of which it is regarded as the model, is the same as the relation of the pictures our mind forms of things to these things. [...] The agreement between mind and nature can therefore be compared to the agreement between two systems which are models of one another, and we can even account for this agreement by assuming that the

> mind is capable of making actual dynamical models of things and of working with them. (PM § 428)[22]

Again we are discovering that Hertz's mechanics is distinct in that it is self-limiting. This time, it does not limit itself to inanimate nature but limits any knowledge of nature to knowledge of the dynamic similarity between the constructed representation and the represented system. By sharply distinguishing between essential and empty relations Hertz's mechanics determines not only the scope of a particular theory but a general limit on what we can know. It does not just happen to be the case that mechanics cannot describe even the lowest processes of life, but the very project of gaining descriptive knowledge of nature by creating in our minds dynamical models is constrained by mechanics. After all, these dynamical models can serve the most important and elementary task of science, namely "the anticipation of future events" (PM 1/1) only if they satisfy Hertz's *Lehrsatz* or theorem in the section on Dynamical Models:

> If two systems, each of which is a model of the other, have corresponding conditions at a definite time, then they have corresponding conditions at all times. For by the equations of condition of a system, the expression for the magnitude of displacement and the initial values of the coordinates and their changes, the course of the coordinates is determined for all times [. . .] (PM § 424).

In other words, in a successfully predictive science the representational model and the represented system will both exhibit "only the continuance of the previous motion in a given simple manner." And as before, one can therefore "scarcely help denoting" that such a simple continuance of motion is a feature only of "inanimate or lifeless" systems (PM § 320).

All this can be formulated more plainly: In order to generate predictions, scientists extrapolate or in some other manner think through their models to arrive in a more or less mechanical fashion at a determinate conclusion. In the meantime, the physical system of nature develops along the determinate pathways of its dynamics. Predictive knowledge is possible only when these two mechanical, lifeless motions unfold in parallel – any kind of spontaneity or sign of life would disrupt the parallelism and take us out of the domain of mechanics, of inanimate nature, and of the agreement of mind and nature by means of representation. Thus, the scientific pursuit of representing the world is basically a lifeless activity – it will only succeed and predictive scientific knowledge will only be possible if these descriptive models are properly geometrized

[22] To be sure, in order to meet the requirement of "dynamical model," the hypothetical motions of hidden masses must be attributed to the systems of nature themselves. Along with measurable co-ordinates these systems of nature must therefore be said to have co-ordinates that are unmeasurable in principle (see note 15 above). This creates a conceptual difficulty for Hertz since his mechanics provides a model of nature only in reference to the measurable co-ordinates. This difficulty can be avoided, however, if one allowed for internal empty relations to be black-boxed: Being empty, they do not specify "co-ordinates" at all and do not enter into the modeling relationship.

and the spontaneity of linguistic expressiveness is suppressed. If the aim of science is to create lifeless representations, such representations are also incapable of representing living processes that express spontaneous actions. This is the price to pay if one seeks genuine agreement between mind and nature as two dynamic systems: Their agreement presupposes that each continues in a mechanical manner. If this condition is met, all that needs to be done and all that can be done by science is to properly calibrate these systems such that they continue each in their simple but now coordinated manner.

While this specific epistemological lesson emerges from Hertz's distinct presentation of mechanics, he applies it to all theorizing, including the customary presentations of mechanics. This is why the conclusion of Hertz's book can appear right at its outset. Indeed, his very project of comparing three empirically equivalent pictures of mechanics is underwritten by his epistemological conclusion according to which all three are nothing but dynamical models of the system of nature.

> We form for ourselves pictures [*Scheinbilder*] or symbols of external objects; and we make them in such a way that the necessary consequents of the pictures in thought are always the pictures of the necessary consequents in nature of the things pictured. In order for this requirement to be satisfiable at all, there must be certain agreements between nature and our mind. [...] The pictures of which we are speaking are our conceptions of things; they agree with the things in *one* important respect which consists in satisfying the above-mentioned requirement, but for their purpose it is not necessary that they are in any further agreement with the things. Indeed, we do not know, nor have we any means of discovering whether our conceptions of things agree with them in anything at all but in this *one* fundamental relation alone. (PM 1f./1f.)

The philosopher Heinrich Hertz thus delimits a contingent world of representation where the coordination between representational models and represented states of nature is effected by dynamical models that are constructed according to one plan, namely a fundamental law that is formulated for a geometry of systems of points. In this world, scientific knowledge is possible. Hertz thus accounts for the possibility of a natural science without the metaphysical presupposition of natural or causal necessity. At the same time, he juxtaposes the world of representation in which all problems are assumed to be physical, if not mechanical, and all motion simply continues, to a world of will in which one confronts spontaneity, the problem or problems of life, of intention and sensation, pleasure and pain.

14.6 Coda

This paper set out by claiming that it avoids the detour through other philosophers who were influenced by Hertz, such as Ludwig Wittgenstein. In light of the proximitiy of their views, Wittgenstein scholars might find this claim less than ingenuous and wonder how much of Wittgenstein's philosophy was here read back into Hertz's work. While certain

turns of phrase in this reconstruction inevitably owe to my own previous attempts to discuss the relation of Wittgenstein and Hertz (Nordmann 2005), I tried to counteract this suspicion precisely by presenting the coherence of Hertz's philosophical positions in its own terms.

A second, perhaps complementary paper would be required to elaborate the striking closeness between Hertz's philosophical views and those, in particular, of Wittgenstein's *Tractatus Logico-Philosophicus* (Wittgenstein 1922).[23] This would begin with the notion that mechanics provides a single plan by which to construct all true propositions required for the description of the world (TLP 6.343) and thus the idea of a gradual determination of all actual states of affairs from the collection of all possible ones (and with explicit reference to Hertz TLP 6.361 . . .) – and the rejection of "explanations" that profess to go beyond such a determination of the actual (TLP 6.371, see also TLP 6.36 on "laws of nature"). Indeed, one can read large portions of the *Tractatus* – including the entire account of completely general propositions, science and explanation, lawfulness and the passage of time – as owing to Hertz, namely TLP 6.34 to 6.3611.[24]

Methodologically, Hertz and Wittgenstein share a commitment to the principle of immanence (Janik 1994/95) and thus to the idea that physics (or logic) must take care of itself (TLP 5.437). Accordingly, Wittgenstein also pursues a program of "delimitation from within" which provides a view of the domain of the sayable as a whole (TLP Preface, 6.45). This enables him to simply and respectfully leave alone all that may or may not exist beyond that limited whole. In particular, the problem or problems of life remain untouched, according to Wittgenstein, once all the questions of science have been answered (TLP 6.52, 6.521). And Hertz's suggestion that illegitimate, yet vexing questions simply go away if a confusing concept like "force" is removed from the basic vocabulary emerges as a paradigm for Wittgenstein's life-long employment of a "therapeutic method" which aims to remove all philosophical problems in quite the same fashion.

This delimitation of the sayable or scientifically answerable proceeds from a consideration of language as a kind of picturing or modelling which works by coordinating sentences and other factors in a "dynamical model" (Wittgenstein explicitly refers to Hertz's use of that term in TLP 4.04). For Wittgenstein, a sentence is a model of a states of affairs and there is no outside vantage point (TLP 4.041) that would allow us to say anything about the relation of sentence and world other than simply to note that – despite all their obvious dissimilarities – one is a model of the other in virtue of the coordination of words in the sentence with things in the states of affairs. These constraints on what we can know make the description and determination of the world

[23] The following paragraphs will cite this as TLP and provide references to specific numbered remarks in that book. – The striking closeness between Wittgenstein and Hertz calls to mind Wittgenstein's most explicit reference to Hertz as an important influence – one that was prefaced by a view of himself as a "reproductive" thinker: "I believe that I have never *invented* a movement of thought, but it was always given to me by someone else. [. . .] This is how Boltzmann, Hertz, Schopenhauer, Frege, Russell, Kraus, Loos, Weininger, Spengler, Sraffa influenced me" (Wittgenstein 1998, 16).

[24] Arguably and in light of PM §§665–667, this large Hertzian section of the TLP might be starting at 6.33 already.

possible, and also our communication about what is or is not the case as a matter of fact. In other words, though there have been numerous commentaries and analyses written on the relations of Hertz and Wittgenstein,[25] a comprehensive appreciation of Hertz's philosophy in the *Principles of Mechanics* allows us to read in a Hertzian manner numerous propositions of Wittgenstein's *Tractatus* that have not been included in these discussions as of yet (TLP 4.041, 4.11, 5.5262, 6.33, 6.371, 6.342f., 6.361f., 6.432, 6.5, 6.52f.).

14.7 References

Baç, Murat (2000): "Structure versus Process: Mach, Hertz, and the Normative Aspect of Science." In: *Journal for General Philosophy of Science* **31**, pp. 39–56.

Baird, Davis, RIG Hughes, and Alfred Nordmann (eds.) (1998): *Heinrich Hertz; Classical Physicist, Modern Philosopher.* Dordrecht: Kluwer.

Buchwald, Jed (1994): *The Creation of Scientific Effects: Heinrich Hertz and Electric Waves.* Chicago: University of Chicago Press.

DuBois-Reymond, Emil (1967): *Über die Grenzen des Naturerkennens: Die sieben Welträtsel.* Berlin: de Gruyter.

Fölsing, Albrecht (1997): *Heinrich Hertz: Eine Biographie*, Hamburg: Hoffmann und Campe.

Hentschel, Klaus (1998): "Heinrich Hertz's *Mechanics*: A Model for Werner Heisenberg's April 1925 Paper on the Anomalous Zeeman Effect." In: Baird, Hughes, Nordmann 1998, pp. 183–223.

Hertz, Heinrich (1894): *Die Prinzipien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt.* Leipzig: Barth.

Hertz, Heinrich (1896): "Hermann von Helmholtz," In: Heinrich Hertz *Miscellaneous Papers.* London: Macmillan, pp. 332–340.

Hertz, Heinrich (1956): *The Principles of Mechanics Presented in a New Form.* New York: Dover.

Hertz, Heinrich (1999): *Über die Constitution der Materie*, Berlin: Springer.

Hyder, David (2003): "Kantian Metaphysics and Hertzian Mechanics." In: Stadler, Friedrich (ed.): *The Vienna Circle and Logical Empiricism.* Dordrecht: Kluwer, pp. 35–48.

Janik, Allan (1994/95): "How did Hertz Influence Wittgenstein's Philosophical Development?" In: *Grazer Philosophische Studien* **49**, pp. 19–47.

Lützen, Jesper (2005): *Mechanistic Images in Geometric Form: Heinrich Hertz's Principles of Mechanics.* Oxford: Oxford University Press.

[25] A 1998 bibliography lists 26 items (Nordmann 1998b), an updated version adds another eight, not counting, for instance, several papers forthcoming from a June 2002 workshop on Hertz and Wittgenstein at the College de France. The number continues to grow, with three further additions in the present volume.

Manno, Richard (1900): *Heinrich Hertz – Für die Willensfreiheit? Eine kritische Studie über Mechanismus und Willensfreiheit.* Leipzig: Engelmann.

Mulligan, Joseph F. (1998): "The Reception of Heinrich Hertz's *Principles of Mechanics* by his Contemporaries." In: Baird, Hughes, Nordmann 1998, pp. 173–181.

Nordmann, Alfred (1998a): "'Everything Could be Different': The *Principles of Mechanics* and the Limits of Physics." In: Baird, Hughes, Nordmann 1998, pp. 155–171.

Nordmann, Alfred (1998b): "Heinrich Hertz: A Bibliography," In: Baird, Hughes, Nordmann 1998, pp. 281–305.

Nordmann, Alfred (2005): *Wittgenstein's Tractatus: An Introduction.* Cambridge: Cambridge University Press.

Nordmann, Alfred (2007): "Revies of Jesper Lützen *Mechanistic Images in Geometric Form: Heinrich Hertz's Principles of Mechanics*." In: *Historia Mathematica* **34**:3, pp. 349–352.

Poincaré, Henri (1952): "Les Idées de Hertz sur la Mécanique (1897)." In: *Oeuvres de Henri Poincaré.* Paris: Gauthier-Villar, vol. 7, pp. 231–250.

Saunders, Simon (1998): "Hertz's Principles." In: Baird, Hughes, Nordmann 1998, pp. 123–154.

Wittgenstein, Ludwig (1922): *Tractatus Logico-Philosophicus.* London: Routledge and Kegan Paul.

Wittgenstein, Ludwig (1998): *Vermischte Bemerkungen – Culture and Value.* Revised edition, ed. by G. H. von Wright and Heikki Nyman. Oxford: Blackwell.

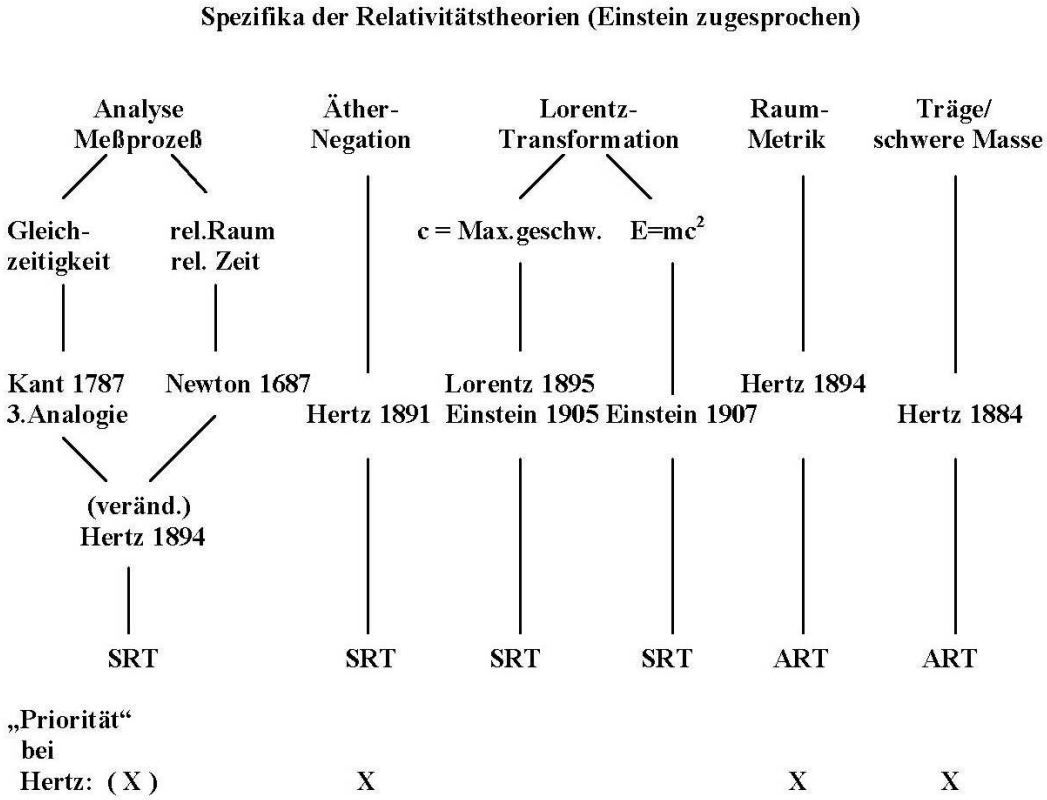


Abbildung 15.1:
Spezifika der Relativitätstheorien (Einstein zugesprochen)

Revision der Mechanik – Heinrich Hertz als Wegbereiter der Relativitätstheorien

Peter Klein (Hamburg)

Abstract: Revision of Mechanics – Heinrich Hertz Preparing the Theories of Relativity

The title of Einsteins first paper on the Theory of Relativity *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* is obviously a paraphrase of Heinrich Hertz' last one on electrodynamics (ED). Yet, for the history of origins and influences on Einsteins works Hertz is rarely mentioned, and hardly sufficiently valued. In common opinion his works count as the very completion of classical physics, thanks to the integration with electrodynamics, leaving open, however (as Hertz himself explicitly noticed), a set of problems that he was obviously unable to solve. Instead, thus fama continues, he turned to write a luxurious surplus (that nearly cost him his historical reputation), the posthumously published *Prinzipien der Mechanik*, an imposing volume, sophisticated, yet quite useless for concrete scientific work; then it was Einstein who was the first to understand these problems as basical for physics at all and bridged the gap between electrodynamics and mechanics by his Theory of Relativity.

I will argue in this note that Hertz himself to a large extent conceived and realized Einsteins program: By the two "introductions" into his collected electrodynamical papers and into the "Prinzipien" he clearly exposes the problems, demonstrates them as basical deficits in the methodology of mechanics and conceives (heuristic or epistemological) principles equivalent to those of Einstein's, so that, had he survived, would have developed a kind of „Theory of Relativity"' some five years earlier.

Der Titel von Einsteins erster Mitteilung zur speziellen Relativitätstheorie *Zur Elektrodynamik bewegter Körper* paraphrasiert ganz offenkundig Heinrich Hertz' allgemein als letzte zu dem Thema angesehene Arbeit von 1890 *Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper*. Das muß nicht sogleich auffallen, denn um diese Zeit wurden viele Arbeiten sehr ähnlichen Titels publiziert (vgl. z. B. Laue 1911, 201ff), großenteils von wenig bekannten Autoren, zumeist arm an Bedeutung oder physikalisch falsch, und daher zurecht vergessen. Auffallen aber muß es, wenn auch in Simonyis aus-

führlichem Kapitel zur Entstehung der Relativitätstheorie (Simonyi 1990, 397–424, vgl. insbesondere Abb. 5.2-1) und sogar in einer Arbeit, die ausdrücklich „Influences on Einsteins early work“ behandelt (Holton 1973), Hertz mit keinem einzigen Wort erwähnt wird, obwohl er, wie autobiographisch dokumentiert und wohlbekannt ist, zumindest für Einsteins elementares Studium der Elektrodynamik von Bedeutung gewesen ist. Wenn also, obwohl selten, Hertz und Einstein überhaupt zusammen erwähnt werden, so in dem Sinne, daß Hertz zwar wegen seiner Vereinigung von Mechanik, Elektrodynamik und Optik als „Vollender der Klassischen Mechanik“ gelten könne, daß aber dieser scheinbar vollendete Bau nur ein kurzes Leben gehabt habe, weil in ihm eine Reihe ungelöster Probleme steckten, denen Hertz selber durch die Flucht in ein neues Arbeitsgebiet, die Prinzipien der Mechanik, ausgewichen sei, wogegen sie Einstein ab 1905 in einer neuen, kritischeren „Vereinigung“ gelöst habe.

Mir wollte freilich schon immer nicht einleuchten, wieso ein Forscher wie Hertz, dessen *wissenschaftliches* Verdienst ja in der genannten *Vereinigung* besteht (während ihre experimentelle Basis, die elektromagnetischen Wellen, doch v. a. wegen ihrer technischen Bedeutung, insofern eher zufällig, weltweiten Ruhm bewirkten) – warum, sage ich, ein solcher Forscher nun plötzlich vor einer ähnlichen, die bisherige bloß kontinuierlich fortsetzenden Aufgabe gewissermaßen „kneifen“ sollte. Zumal wenn eine wesentliche Komponente der Relativitätstheorie, wie ich schon in der Schule gelernt hatte, in der genauen Analyse physikalischer Meßprozesse überhaupt besteht (vgl. später z. B. Mittelstaedt 1963), lag doch die Vermutung mehr als nahe, daß bereits Hertz mit der Analyse der Prinzipien der Mechanik, also der Grundwissenschaft der messenden Physik, vielleicht sogar ganz bewußt diese Absicht verfolgte.

Diesem Verständnis war hilfreich, daß Heinrich Langes Vorlesungen über die Geschichte der Grundlagen der Physik (erweitert in: Lange 1954, 1961) mir die methodologisch zentrale Stellung der „Prinzipien“ bereits im 1. Semester verdeutlicht hatten; Lange verwies auch auf ihre Äquivalenz zur „Kritik der reinen Vernunft“ – und damit für mich, der ich in der Folge die „Kritik“ ein wenig gegen den Strich der üblichen Auslegungen las, auf ihre grundlegende Funktion für die sog. „Moderne Physik“. Daraus ergab sich als Arbeitshypothese:

Für Heinrich Hertz wurden Unstimmigkeiten der letzten seiner die klassische Physik vollendenden Arbeiten zur Elektrodynamik zum Anlaß einer systematischen Revision der Struktur der Physik, die er aber wegen seines Todes nicht abschließen konnte. Das gab Einstein die Chance, diese Aufgabe in den beiden Relativitätstheorien zu vollenden, natürlich unter Einbezug der erzielten Teilergebnisse, insbesondere aber unter Konsolidierung spezifischer, von Hertz eingeführter Arbeitsprinzipien.

Diese These ist (nach einer kurzen Notiz Albrecht Unsölds (1970)) in den letzten ca. zehn Jahren öfters angedeutet worden, z. B. in Fölsings großer Biographie von 1997. Ich selber habe sie bereits 1994 (Vortrag bei DESY) sowie in einer Publikation 1995 ausgeführt; beide wurden nicht rezipiert. In der breiteren Öffentlichkeit halten sich die offenbar zum offiziösen Kulturbestand gewordenen Mythen über die Entstehung der Relativitätstheorie, wie sie z. B. in der Unzahl von Publikationen zum sog. Einstein-Jahr 2005 geboten wurden; korrigierende Zuschriften z. B. an „GEO“ und „information philosophie“ wurden weder gedruckt noch beantwortet.

Inzwischen möchte ich die These dahingehend erweitern,

1. daß Hertz nicht nur der Stichwortgeber Einsteins für dessen abschließende Lösung war, sondern daß er diese Probleme bereits soweit gelöst hatte, daß Einstein in voller Kenntnis des Zieles und des von Hertz dazu bereits Geleisteten eigentlich „nur noch“ (auf freilich geniale Weise!) das die Synthese vollziehende Organ gewesen ist, aber daß die Art seiner Darstellung in der Folge auch zur Verschleierung dieses Sachverhalts beigetragen hat;
2. daß Fölsings überraschende und verdienstvolle Edition von Hertz' früher Vorlesung über die *Constitution der Materie* zeigt, daß Hertz die Notwendigkeit dieser Revision zu einem ganz frühen Zeitpunkt seiner Entwicklung erspürt und die dabei zu lösenden Probleme durch so subtile Argumentsstränge bloßgelegt hat, wie es mir (als Didaktiker wichtig) in solcher Klarheit in der gesamten naturwissenschaftlichen Literatur sonst nirgends begegnet ist (so daß sich gelegentlich das unheimliche Gefühl in mir regte, *so* klarsichtig *könne* ein endlicher Mensch vorab doch gar nicht gewesen sein).

Hertz' Arbeiten stellen sich damit dar als Komponenten eines zwar „instinktiven“, doch klaren Programms von impliziter Systematik. Zeit und Raum reichen freilich nicht, dies vollständig, zusammenhängend und philologisch korrekt auszuführen. Ich beschränke mich hier auf nur lose Bemerkungen zu einzelnen spezifischen Eigenschaften, die der Relativitätstheorie allgemein, z. T. geradezu schlagworthaft, zugesprochen werden. So zu verfahren hat Einstein selbst sozusagen legitimiert, wenn er rückblickend schreibt, *„der ganze Weg (zur Relativitätstheorie) (habe) aus kleinen, fast selbstverständlichen gedanklichen Schritten“* bestanden (Einstein 1920a, 1).

In solche Schlagworte aufgelöst wird die Relativitätstheorie in der Regel verstanden als Theorieeinheit von

1. Analyse des Meßprozesses in der Physik, insbesondere von Raum, Zeit und dem Begriff der Gleichzeitigkeit;
2. Beseitigung des „Äthers“, einer feinen, universell verteilten, unmeßbaren Materie, eingeführt (postuliert) als Träger der elektromagnnetischen Wechselwirkung, und damit als die letzte und allein übriggebliebene von vielen „Kräfte“ vermittelnden „imponderabilia“;
3. den Lorentz-Transformationen, die für die Elektrodynamik bewegter Körper an die Stelle der Galilei-Transformation treten und durch ihre mathematische Struktur die Lichtgeschwindigkeit als maximale Grenzgeschwindigkeit realer Wechselwirkungsprozesse implizieren,
4. sowie, davon scheinbar unabhängig (von Einstein auch erst später publiziert), die Äquivalenz und Konvertierbarkeit von Masse und Energie ($E = mc^2$).

Diese vier mögen als konstitutiv für die sog. Spezielle RT gelten; sie lassen sich zusammenfassen zum (bzw. folgern aus dem) allgemeinen „Relativitätsprinzip“, der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit in zueinander bewegten Inertialsystemen. Dazu kommen für die sog. Allgemeine Relativitätstheorie

5. die Äquivalenz von träger und schwerer Masse als Grundlage, woraus sich
6. die Metrik des Raumes als Funktion der im Raum verteilten gravitierenden Körper ergibt.

15.1 Zu 1.: Meßprozess

Die genannten Unzulänglichkeiten der Hertz'schen Fassung der Elektrodynamik zeigten sich bei ihrer Anwendung auf zueinander „bewegte Körper". Bewegungen sind Vorgänge in Raum und Zeit, und Bewegungen von Körpern untereinander erfordern die Analyse der Beziehungen zwischen ihnen, insbesondere in Bezug auf ihre Gleichzeitigkeit und/oder Aufeinanderfolge. Nach gängiger Auffassung habe nun Einstein insbesondere die Begriffe Newtons von absolutem Raum und absoluter Zeit, welche dieser in den „principia" seiner Mechanik zugrundegelegt habe (Newton 1687), beseitigt, weil sie prinzipiell unmeßbar und daher physikalisch bedeutungslos seien. Ferner habe er den Begriff der Gleichzeitigkeit präzisiert durch Knüpfung an den Austausch wechselseitig wahrnehmbarer Signale, wodurch konkrete Messungen erst möglich und vergleichbar würden. Doch gab es zu beiden Aspekten Vorarbeiten, die aber als solche der Wissenschaft nicht ins Bewußtsein getreten waren (und es auch bis heute nicht sind (Klein 1995, 92–96)):

a.) Zunächst einmal behandeln, gegen den gängigen Mythos, die „principia" gar nicht den absoluten Raum und die absolute Zeit, jedenfalls nicht als Gegenstände dessen, was wir heute als „Physik", die damalige Zeit als „mathematica" bezeichnen (Krafft 1978), sondern nur als folienartige „naturphilosophische" Grenzbegriffe der „philosophia naturalis". Zu deren Erkenntnis aber muß „mathematica" (= Physik) erst einmal Raum und Zeit als meßbare Größen definieren und Meßergebnisse beibringen, was jedoch „sehr schwer (ist), weil die Theile jenes unbeweglichen Raumes (usw.), in denen die Körper sich wahrhaft bewegen, nicht sinnlich erkannt werden können" (Newton 1687, 30). Demzufolge werden diese beiden Raum (bzw. Zeit-)begriffe (und die äquivalenten für Ort und Bewegung) in den Anmerkungen zu den „einleitenden Erklärungen" klar unterschieden (l. c. 25f; die Übersetzung wäre der geänderten Lesart anzupassen, worauf hier verzichtet wird):
„Die absolute, wahre und mathematische Zeit verfließt an sich und vermöge ihrer Natur gleichförmig und ohne Beziehung auf irgendeinen äußeren Gegenstand. Sie wird auch mit dem Namen „Dauer" belegt."
„Die relative, scheinbare und gewöhnliche Zeit ist ein fühlbares uns äußerliches... Maß der Dauer, dessen man sich gewöhnlich statt der wahren Zeit bedient."
„Der absolute Raum bleibt, vermöge seiner Natur und ohne Beziehung auf einen äußeren Gegenstand, stets gleich und unbeweglich."
„Der relative Raum ist ein Maß oder ein beweglicher Teil desselben, welcher von unseren Sinnen durch seine Lage gegen andere Körper bezeichnet und gewöhnlich für den unbeweglichen Raum genommen wird."
Zwar beabsichtigt Newton sehr wohl (und hält es für „nicht gänzlich hoffnungslos"), mittels Experimenten im relativen Raum auch zum absoluten zu gelangen (und

schlägt dafür zwei Experimente vor, die sich freilich gerade zu jener Zeit durch Machs Analysen als für den gedachten Zweck ungeeignet erwiesen und so die Idee des absoluten Raums zurecht obsolet machten); gerade deshalb aber wird bereits von Newton die Unterscheidung zwischen meßbaren Größen der Physik und metaphysischen Ideen sorgfältig expliziert und zur Entscheidung gestellt.
In ähnlicher Weise unterscheidet auch Hertz in den „Prinzipien“ (zwar ohne Verweis auf Newton, doch wesentlich ausführlicher) zwischen Raum, Zeit und (etwas abweichend) „Masse“ als Erfahrungsformen a priori (unabhängig von Erfahrung) (Hertz 1894, 51ff (= § 1ff)) bzw. als meßbaren Größen im Sinne Newtons (l.c. 157ff (= § 297ff)).

b.) Auch Gleichzeitigkeit als Gegenstand messender Physik, d. h. als Ordnungsparameter zeitlicher Art für die Wechselwirkung von objekthaften Datenkomplexen, war bereits vorher durchdacht und korrekt im strikt empirischen Sinne der Physik gefaßt worden, und zwar von Kant als dritte „Analogie der Erfahrung“ in der „Kritik der reinen Vernunft“. Dies ganz bewußt, wie Kants Korrektur für die 2. Auflage belegt (Kant 1781, A 211 bzw. 1787, B 265):
(Text der 1. Auflage): „Alle Substanzen, sofern sie zugleich sind, stehen in durchgängiger Gemeinschaft (d. i. Wechselwirkung unter einander).“
(in der 2. Auflage): „Alle Substanzen, so fern sie im Raume *als* zugleich *wahrgenommen* werden können, sind in durchgängiger Wechselwirkung.“
Kants Überlegung zur Änderung war, in präziser Auslegung seines kritizistischen Programms, offenbar diese: Wenn wir Dinge nur erkennen können durch sinnliche Wahrnehmung, so „sind“ (existieren) sie *für uns* nur durch Wahrnehmung, sie „sind“ (für uns) also genau dann „zugleich“, wenn sie „als zugleich“ *wahrgenommen* werden. Genau dann aber können sie auch miteinander wechselwirken, da für beides, Wahrnehmung wie Wechselwirkung, der Eingang eines Signals erforderlich ist: Wahrnehmbarkeit und Wechselwirkungsmöglichkeit sind identisch (wobei die möglichen Signalgeschwindigkeiten ebenso wie deren Verrechnung aber nicht mehr Sache der Transzendentalphilosophie sind, sondern der Physik).
Kants Begriff der Gleichzeitigkeit ist demnach völlig äquivalent dem der Relativitätstheorie. Bildlich dargestellt, ergäbe sich ungefähr ein Minkowski-Diagramm: alles, was innerhalb des „Weltlinienkegels“ liegt (dessen Öffnungswinkel empirisch durch c als maximaler Signalgeschwindigkeit gegeben ist), ist gleichzeitig, weil es aufeinander einwirken kann, alles außerhalb ist „Vergangenheit“ oder „Zukunft“.

Zu beiden Problemen lagen also Analysen vor (die in der Wissenschaftsgeschichte freilich nicht rezipiert, zumindest Hertz aber bekannt waren), auf die Hertz und Einstein sich hätten beziehen können; daß sie es nicht taten, begründet Mythos.

15.2 Zu 2.: Beseitigung des Äthers

Das Problem des Äthers steht wie bei allen zeitgenössischen Wissenschaftlern so auch bei Hertz im Zentrum der Aufmerksamkeit (in (Hertz 1884) macht seine Behandlung

genau die Hälfte des Umfangs aus!), und hartnäckig hält sich bis heute die Auffassung, Hertz sei bis zum Schluß ein Verfechter dieser Hypothese gewesen (so Mulligan 2001, 136: „... maturing interest in the aether ... until he finally (sic!) considered the nature of the aether the most important problem remaining to be solved by physicists.“). Diese „Lösung“ sei dann, so die communis opinio, von Einstein gekommen, der den Äther als physikalisch irrelevantes Scheinproblem einfach negiert habe. So z. B. Jacobi (2007) über (Hertz 1884): „Die Probleme der Ätherphysik werden ausführlich dargelegt, wenngleich Hertz keinen Ausweg aus diesem Dilemma weiß. Eine Lösung à la Einstein war zu diesem Zeitpunkt noch in weiter Ferne“ – zu fragen wäre, ob vielleicht doch nicht in so weiter Ferne, daß sie nicht für Hertz selber bereits erreichbar gewesen sei, wie es denn ja auch tatsächlich der Fall gewesen ist. Obige Darstellung wäre ein unhistorischer Sprung, der schlicht Hertz´ Lebensarbeit überginge, die ja gerade darin besteht, sich *nicht* in diese Hypothese verbissen zu haben und dadurch in eine Sackgasse geraten zu sein.

Zwar steht sie auch bei Hertz am Anfang, allerdings bereits hier mit dem Vorbehalt, daß vielleicht „auch die beiden (Imponderabilien), welche heutzutage noch eine Rolle spielen, der Lichtäther und die Elektricität, ... sich als überflüssige Hypothesen darstellen (werden)“ (Hertz 1884,18; 1999,30). Durch die unbefriedigende Arbeit von 1890 zu genauer Analyse der Äther-Problematik veranlaßt (vgl. Mulligan 2001, 148), gelangte Hertz zu immer abstrakter werdenden Vorstellungen vom Äther, bis dieser so zum Schemen abgemagert war, daß er schließlich als überhaupt inhaltsleer abgestoßen und durch rein formale Felder ersetzt wurde. (Simili modo wäre Kolumbus die Entdeckung Amerikas abzusprechen, weil er eigentlich den Seeweg nach „Indien“ gesucht hatte – und, anders als Hertz, auf seinem Irrtum beharrte!). Freilich drängte sich dieser Teil seines „Lebenswerkes“ auf weniger als ein Jahr, ja auf die wenigen, wohl im Oktober 1891 geschriebenen Seiten 21–31 der Einleitung in (Hertz 1891) zusammen, so daß es wenig Sinn macht, ja geradezu textwidrig ist (vgl. Mulligan 2001, 153ff passim), Hertz' abschließende Äthervorstellungen aus willkürlich gemischten Zitaten *dieses* und früherer Texte – sowie den reichlich zitierten Hertz-Kommentaren der unverdrossen auf mechanische Modelle setzenden englischen Zeitgenossen – erschließen zu wollen und schließlich gar (155f) das völlige *Verschwinden* des Begriffs als Beleg seiner beständigen geistigen Präsenz zu deuten.

Dieser Läuterungsprozeß begann aber, wie gesagt, schon 1884, und Hertz macht (als ein glänzender Didaktiker) zwischendurch sogar noch produktiven Gebrauch von diesem – am Ende als überflüssig angesehenen – „Problem“.

Das Ätherproblem bestand bekanntlich darin, daß man zur „mechanischen“ Deutung der Übertragung von Energie gleich welcher Form jeweils eines spezifischen mechanischen Trägers zu bedürfen glaubte. Für Licht (und nach deren Entdeckung versuchsweise auch für elektrische und magnetische „Kräfte“) stellte man sich diesen als einen universell verteilten, aber unmeßbar feinen Stoff vor, den Äther. Dessen physikalische Charakterisierung aber führte in jeder Phase der Interpretation zu offenbar unlösbaren Widersprüchen, die Hertz ebenso klar darstellt wie zur Gewinnung weiterführender wissenschaftlicher Aufgaben nutzt. Deren Vielfalt kann hier nicht dargestellt werden; hier nur zwei solcher Knotenpunkte:

Die Aporien rein mechanischer Deutung werden – heute allgemeiner Schulstoff – durch die Folgerungen illustriert, die sich für Licht als transversaler (weil polarisierbarer) Welle ergeben, die eines mechanischen „Festkörpers“ bedarf, dessen Festigkeit (Hertz arbeitete zur gleichen Zeit selbst über Festkörper-Elastizität!) Wellen von Lichtgeschwindigkeit erzeugen, zugleich aber widerstandsfreie Planetenbewegung ermöglichen sollte (Hertz 1884, A96ff; 1999, 55f). Er resumiert: „Lassen wir uns auf Concessionen nicht ein, sagen wir einfach: Hier ist ein Widerspruch“ – dessen Lösung er freilich „von der Zukunft erhofft“.

Doch diese „Zukunft“ hat für Hertz wenige Seiten später schon begonnen (1884, A 184 ff; 1999, 88 ff) und gibt gar sogleich die Leitlinie seiner Lebensarbeit vor: Statt mit den Tücken und Zumutungen der Festkörperphysik zu fighten, assoziiert er das Stichwort „Polarisation“ einfach mit dem der Maxwell'schen Elektrodynamik, die, erstens, Transversalwellen auch in flüssig/gasförmigen Medien zuläßt und, zweitens, für elektromagnetische Phänomene sinnvollerweise auch elektromagnetische Parameter benutzt (was wunderbarerweise überdies sogleich, und sogar (anders als in seinem Nauheimer Vortrag (1889)) auf physikalische Argumente gestützt, auf einen beinahe strikten Beweis der Identität des Lichts mit den (damals noch hypothetischen) elektromagnetischen Wellen führt (Hertz 1884, A205ff; 1999, 104ff)).

Man könnte auch sagen: es ist ein geradezu *tautologisches* Vorgehen: „was“ die zu fordernden elektrisch meßbaren Eigenschaften besitzt, „ist“ der Aether; oder, lapidar auf Licht spezialisiert (Hertz 1884, A212; 1999, 107): „Wir nehmen also an, daß das Licht in dielektrischen Schwingungen des Äthers besteht.“ - damit wird aus dem Äther der leere Raum mit der „meßbaren“ Dielektrizitätskonstanten „ϵ_0“ – wer würde das bezweifeln! Erst aufgrund der Existenz von Materie im Raum kommt es dann auch zu physikalischen Effekten der Elektrodynamik, wie z. B. Helmholtz (1892) für die Dispersion gezeigt hat.

Es ist dies also eine rein formal aufgefaßte, parallel aber auch bereits hier „atomistisch“ interpretierte, Maxwell'sche Theorie der dielektrischen Eigenschaften des Raumes bzw. der darin befindlichen Materie, die *nach der empirischen Untersuchung der elektromagn. Wellen* nun die Frage erlaubt: „Was ist nun aber, genau gesprochen, die Faraday-Maxwell'sche Theorie?“ (Hertz 1891, 21) und die über das Programm, „die unentbehrlichen physikalischen Vorstellungen widerspruchsfrei ... zu construiren, indem ich ... die Maxwell'sche Theorie so viel wie möglich vereinfachte durch Elimination oder einfache Fortlassung (!) aller derjenigen Elemente, welche ich nicht verstand und welche entbehrlich waren, da sie auf keine möglichen Erscheinungen einen Einfluß üben konnten“ (l. c. 22), schließlich zu dem berühmten Axiom führt: „Auf die Frage „Was ist die Maxwell'sche Theorie?“ wüsste ich also keine kürzere und bestimmtere Antwort als diese: Die Maxwell'sche Theorie ist das System der Maxwell'schen Gleichungen.“ (l. c. 23).

Die Analyse der verschiedenen möglichen Polarisationstypen des bis dato zur Erklärung eingesetzten „hypothetischen Mediums“, genannt Äther, führt nun zunächst dazu, „die Erklärung des Wesens der Polarisationen, ihres Zusammenhangs und ihrer Wirkungen“ zu „vertagen“ und sich geradezu zu „weigern, ... in den bisher benutzten Elektrizitäten und Fernkräften eine befriedigende Erklärung dieses Zusammenhangs und dieser Wirkungen zu sehen. *Die Ausdrücke Elektrizität, Magnetismus, u.s.w., behalten für uns*

nur den Werth von Abkürzungen“ (Hertz 1891, 27; Hervorhebung von mir). Erneut betont Hertz (l. c. 30), er habe sich „bemüht, in der Darstellung die ... Vorstellungen möglichst zu beschränken, welche von uns in die Erscheinungen willkürlich hineingetragen werden und nur solche Elemente zuzulassen, welche nicht entfernt oder abgeändert werden können, ohne zugleich mögliche Erfahrungen abzuändern.“ Selbst „der Ausdruck „elektrische Kraft“ ... ist nur ein Name für einen Polarisationszustand des Raumes“ und wäre überdies vielleicht besser „durch das Wort „elektrische Feldintensität“ zu ersetzen.“ „Es ist wahr“, fährt er fort, „dass durch dies Bestreben die Theorie einen sehr abstracten und farblosen Anblick erhält“, wo man bisher „gewöhnt war, (ein) sinnliches Bild vor Augen zu haben.“ Wenn man freilich „der Theorie mehr Farbe zu verleihen (wünscht), so ist nichts im Wege, dass man noch nachträglich der Einbildungskraft zu Hilfe komme durch concrete sinnliche Vorstellungen von dem Wesen der elektrischen Polarisation, des elektrischen Stromes u.s.w. Aber ... dies bunte Gewand, welches wir der Theorie überwerfen, und dessen Schnitt und Farbe vollständig in unserer Gewalt liegt, ist wohl zu unterscheiden von der einfachen und schlichten Gestalt selbst, welche die Natur uns entgegenführt.“ (l. c. 30f).

Daß für Hertz auch der Äther (der hier und in der Folgezeit einfach nicht mehr erwähnt wird) zu diesen „bunten Gewändern“ zählt, sollte keinem Zweifel unterliegen (was freilich verborgen bleibt, wenn man (wie Fölsing 1997, 457 ff) die zeitliche Abfolge der Arbeiten (Hertz 1890 und 1891) vertauscht). Und wenn die communis opinio demzufolge die Elimination des Äthers Einstein zuschreibt und dazu gewöhnlich auf den „prophetischen Satz“ (GEO Jan. 2005, 64) in seinem Brief an Mileva Marič vom September 1899 verweist, in dem es heißt: *„Es wird mir immer mehr zur Überzeugung, dass die Elektrodynamik bewegter Körper,wie sie sich gegenwärtig darstellt, nicht der Wirklichkeit entspricht, sondern sich einfacher wird darstellen lassen. Die Einführung des Namens (!) „Äther“ ... hat zur Vorstellung eines Mediums geführt,... ohne dass man, wie ich glaube, mit dieser Aussage einen physikalischen Sinn verbinden kann.“* so muß die Frage erlaubt sein, ob bei solch gedanklichem Gleichklang für Einstein nicht einfach die Wiedergabe einer Lesefrucht vermutet werden, sowie, da er sich 1905 durch die Analogie der Titel ausdrücklich auf die (hierin noch nicht so klare) Arbeit von 1890 bezieht und sich nie dagegen verwahrt hat, daß der Gedanke ihm zugeschrieben wurde, auch ein leichter Verdacht bewußter oder unbewußter Verschleierung sich regen darf.

Bereits in der Arbeit über die Elektrodynamik bewegter Körper (Hertz 1890) hatte Hertz bemerkt, daß die Anwendung der klassischen (Galilei'schen) Transformationsgleichungen zu sehr unbefriedigenden, allenfalls formalen Ergebnissen geführt hatte, „von Werth nur vom Standpunkt der systematischen Ordnung“ und „unter gewissen Beschränkungen“, von denen es „wenig wahrscheinlich“ sei, daß sie „dem Falle der Natur entsprechen“. Die Klärung der Problemlage in der Einleitung in seine gesammelten el.dyn. Arbeiten (Hertz 1891) erforderte demnach als nächsten Schritt die genaue Analyse der Messung und Verrechnung zueinander bewegter Systeme, also genau der grundlegenden Verfahren und Prinzipien, die Gegenstand der *Prinzipien der Mechanik* sind. Diese Schrift erweist sich somit nicht als Flucht vor einem als unlösbar eingeschätzten Problemgebirge, sondern als logischer nächster Schritt in einem klaren systematischen Forschungsprogramm.

15.3 Zu 3.: Lorentztransformationen: c als Maximalgeschwindigkeit

Die nach Hendrik Antoon Lorentz benannten Transformationsgleichungen wurden erst 1895 publiziert. So konnte Hertz sie noch nicht kennen. Er hätte sich vielleicht auch nicht um sie gekümmert, da er ja eine Elektrodynamik beabsichtigte, die zunächst unabhängig von Materie gelten sollte, während die Lorentz-Gleichungen aus Lorentz' *Elektronen*theorie der Elektrizität gewonnen wurden und daher mit dem gewöhnlich als „Lorentz-Kraft" bezeichneten Term gerade die elektromagnetischen Kräfte auf bewegte geladene *Materie* ausdrücken, die von der Maxwell-Theorie unabhängig sind, d. h. aus ihr nicht abgeleitet werden können.

Dieselben Gleichungen hatte aber bereits Woldemar Voigt 1887 publiziert (*Über das Dopplersche Prinzip*. In: Göttinger Nachrichten (vgl. Lange 1954, 291; Simonyi 1990, 403). Hinweise, warum diese Arbeit Hertz entgangen ist, habe ich nicht gefunden; Voigt zu seinem eigenen Versäumnis siehe Bavink (1948, 108 u. Anm. 78).). Sie wären für Hertz zweifellos von größter Relevanz gewesen, denn sie enthielten genau die von ihm benötigte Pointe, nämlich daß die Maxwell'schen Gleichungen sich gegen sie invariant verhalten. Deshalb konnten sie ja auch ziemlich direkt als formale Fassung des „Relativitätsprinzips" in die Spezielle Relativitätstheorie (SRT) eingehen (Einstein 1905, 897ff). Die Invarianzen der Maxwell-Theorie statt die der Klassischen Mechanik erhielten somit Priorität beim Aufbau der Physik (Bavink 1948, 107), als freie Entscheidung zugunsten einer durch Lorentz-Invarianz möglichst einfachen Elektrodynamik, um den Preis einer komplizierteren Mechanik (Buth 1983). Die Lichtgeschwindigkeit als maximale (physikalisch relevante) Gruppengeschwindigkeit war direkte Folge ihrer formalen Struktur, da sie (wie Einstein mehrfach betont (l. c. 903, 912, 920)) für größere Geschwindigkeiten „physikalisch sinnlos" werden. Das wäre wohl auch Hertz, weil mathematisch trivial, sofort aufgefallen, und auch er hätte darüberhinaus wohl erwartet, daß „c" wegen ihrer Funktion in den Transformationsgleichungen sowohl der Weber'schen wie der Maxwell'schen Theorie noch eine viel weitergehende physikalische Bedeutung besitze.

15.4 Zu 4.: Äquivalenz von Masse und Energie ($E = mc^2$)

Die physikalisch und naturphilosophisch wichtigste Rolle von „c" dürfte die des Proportionalitätsfaktor in der „berühmtesten Gleichung des 20. Jahrhundersts" sein, welche die These der Identität von Masse und Energie als reziproke Konvertierbarkeit und als Naturgesetz faßt. So überraschend, ja sensationell uns heute diese Äquivalenz vorkommt (da sie in die bisher rein kinematische Betrachtung eine wesenhaft dynamische Größe hineinbringt, letztlich mit der Konsequenz massenabhängiger Raumstruktur in der Allgemeinen Relativitätstheorie), so wenig hätte sie eigentlich damals überraschen müssen – im Gegenteil, man wundert sich geradezu, warum sie erst als von Einstein abschließend thematisiert gilt, (vgl. Simonyi 1990, 412–416).

Denn „eigentlich" war diese Äquivalenz nur das abschließende Glied einer langen Kette von Versuchen, die Naturkräfte zu vereinigen, sie als jeweils unterschiedliche

Erscheinungs-formen übergeordneter zu verstehen, sie ineinander zu verwandeln und dabei ihren Substanzcharakter durch Erhaltungssätze (Invarianzen) zu erweisen. Dies war seit mindestens hundert Jahren das ausdrückliche und grundsätzliche Programm der Naturwissenschaft im Horizont der Romantischen Naturphilosophie (Klein 2007); und nachdem Lavoisier für die Masse und Mayer, Joule und Helmholtz für die Energie solche Erhaltungssätze erarbeitet und für die Energie auch die Gesetze der Verwandlung ihrer diversen Gestalten Standardthemen der Physik geworden waren, stand nun die Vereinigung der beiden allgemeinsten Erscheinungsformen „der Substanz" auf der Tagesordnung der Physik.

Sie wird denn auch von Hertz in der (ja „populär" gemeinten) Vorlesung über die *Constitution der Materie* wie selbstverständlich als zeitgenössischer Diskussionsgegenstand referiert und ein gemeinsamer Erhaltungssatz erwogen (Hertz 1884, A237ff; 1999, 115f):

Ausgangspunkt sei das „sehr alte" „Dogma von der Unzerstörbarkeit der Materie", welches trotz vielfältiger gegenteiliger Erfahrungen, und also offenbar nicht als Erfahrungssatz, sondern als Leitlinie „a priori" (Kategorie) der Forschung in Geltung sei. Das (jüngere) „Prinzip von der Erhaltung der Kraft" wird dabei insofern zur empirischen Stütze des „a priori'schen" Dogmas, als es über die hypothetischen (quasi-materiellen) „Imponderabilien" als Vermittler der „Kräfte", also insbesondere den damals besonders aktuellen „Äther", zur Bilanz der insgesamt zwar unzerstörbaren, aber in der Erscheinung veränderlichen Materie beitragen könnte, so daß man „ernsthaft Erklärungsversuche discutiren (hörte) wie diesen: ob es nicht möglich sei, daß ein Theil der Energie sich in Materie verwandelt habe."

Wenig später, zur Zeit des Einstein der Speziellen Relativitätstheorie, ist dann diese Verwandelbarkeit gar nicht mehr bloßer Diskussionsgegenstand, sondern als sog. „Energetik" oder „energetischer Monismus" für weite Teile der Wissenschaft naturphilosophische Grundlage von solch ideologischer Selbstsicherheit, daß sie mit politischem Anspruch auftritt: Materie im klassischen Sinn (als Masse) wird zur sekundären, das Fiktive streifenden Gestalt „der Substanz", Energie dagegen zu deren eigentlichem Inbegriff, die bei Ostwald (1895) gar zum Eckstein einer „Überwindung des Materialismus" wird, gleichwohl aber physikalisch nur zu marginalen „energetischen" Folgerungen führt (Ostwald 1912, Kap. 9) und den für die Relativitätstheorie zentralen Gedanken der Konvertierbarkeit gar nicht erwähnt, sich vielmehr gegen ihn selbst noch 1912 wegen seiner Herkunft aus der (Romantischen) „Naturphilosophie" polemisch abgrenzt (l. c. 51). Dagegen wird von Haeckel in seinem Bestseller *Die Welträtsel* (1899, Kapitel III/12, S. 271–294) das „Substanzgesetz" als die „fundamentale Einheit beider Gesetze" (der Massen- und Energie-Erhaltung) für „selbstverständlich" ausgegeben („da beide nur zwei verschiedene Seiten eines und desselben Objektes betreffen") und mit typisch „romantischen" (im pejorativen Sinne) Phantastereien überladen – das möge hier auf sich beruhen, sollte aber doch, als ein marktschreierischer Lärm, der (wie biographisch bekannt) auch in Berner Gelehrtenstuben gedrungen ist, den öffentlichen Hintergrund eines Themas der Wissenschaft skizzieren, das zwar erst einmal, gegenseitige Konvertierbarkeit zugestanden, eine seriöse, physikalisch korrekte Fassung erforderlich machte, aber damit auch auf öffentliche Erwartungen traf und dadurch nahegelegt wurde (vgl. auch Binder o.J., 2.2.2.).

Erste Forderung an ein seriöses physikalisches Gesetz ist natürlich, daß „die Dimensionen stimmen“ (merke: aus der Identität der Dimensionen auf ontologische Identität schließen zu dürfen ist dann immer noch erst empirisch zu prüfen! (Hertz 1884, A243f; 1999, 117)).

Hinsichtlich der Dimensionen waren Masse und Energie also durch das Quadrat einer Geschwindigkeit zu verknüpfen, und als quantitativ bilanzierender Proportionalitätsfaktor kam eigentlich nur „c“ infrage, ist sie doch (außer durch die formale Analogie zu den Lorentztransformationen) durch mindestens vier Wege der „Ableitung“ ausgezeichnet:

1. Die Reihenentwicklung der Lorentztransformation für bewegte Massen ergibt

$$E = m_0c^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

   worin der 2. Term die kinetische Energie, der 1. die „Ruheenergie“ der Masse bedeutet.

2. Gibt es einen durch eine Geschwindigkeit vermittelten Erhaltungssatz für Masse und Energie, so ist unter allen Geschwindigkeiten nur c physikalisch ausgezeichnet, insbesondere als Grenzgeschwindigkeit bei unbegrenzt wachsender kinetischer Energie (Einstein 1905, 920).

3. In enger Beziehung zur Elektrodynamik steht der Gesichtspunkt, daß der elektromagnetische „Strahlungsdruck“ einen Impuls E/c überträgt, der äquivalent ist einer Masse vom Impuls mc.

4. Einstein selbst steuert bereits in seiner Nobelpreis-Arbeit (Einstein 1905a, 145ff) auf das Äquivalentgesetz zu (ohne es schon auszusprechen), indem er die Energieverhältnisse bei der „Erzeugung von Kathodenstrahlen durch Belichtung fester Körper“, also dem Photoeffekt, analysiert, bei dem ja, entsprechend Einsteins „heuristischem Gesichtspunkt“, die Austrittsenergie durch quasi-korpuskulare Stöße der Lichtquanten geleistet wird.
   Einstein wird zu seiner Analyse motiviert durch eine Arbeit Lenards von 1902 (vgl. auch Wiederkehr 2006, S. 134f.), und dieser war bekanntlich „Erbe“ dieser Hertz'schen Entdeckung (Hertz 1887), welcher zu Lebzeiten an dieser Stelle hätte eingreifen können.

15.5 Zu 5. und Zu 6.: Äquivalenz träger und schwerer Masse – Massenabhängigkeit der Metrik des Raumes

Diese beiden Aspekte sind, als für die Allgemeine Relativitätstheorie konstitutive Komponenten, miteinander im Zusammenhang zu sehen. Sie wurden demzufolge auch von Unsöld in den Mittelpunkt gestellt, als er zu einem frühen Zeitpunkt den „Versuch einer historischen Klärung“ des Verhältnisses der *Prinzipien der Mechanik* zur Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) machte (Unsöld 1970). Dabei stellt er insbesondere die

Verwandtschaft der „Geometrisierung der Gravitationstheorie“ (als, wie er meint: „unabhängig gebrauchter Ansätze“ (l. c. 341)) fest, gibt aber zugleich seiner Verwunderung Ausdruck, daß die „längst bekannte Gleichheit von träger und schwerer Masse ... bei Hertz nirgends erwähnt“ werde (l. c. 342).

Demgegenüber zeigt nun aber der „physikalisch wohl eindrucksvollste und überraschendste Abschnitt“ (Fölsing in (Hertz 1884, 16)) der *Constitution der Materie* (Hertz 1884, A255ff, 1999, 121f), daß diese „Proportionalität zwischen Masse und Trägheit“ Hertz nicht nur genauestens bekannt war, sondern daß er in ihr auch ein „fundamentales Problem“ und „wunderbares Rätsel“ hinsichtlich „zweier Haupteigenschaften der Materie“ sah, das zum Schlüssel „eines weitgehenden Einblicks in die Constitution der Materie“ werden könne. Wenn er also zwar „bereits 1884 die Interpretation gefordert, freilich nur in einem unveröffentlichten Manuskript“, sie dann aber weiterhin nicht mehr problematisiert habe, so darf man wohl annehmen, daß entweder eine explizite Bearbeitung sich mit der Fassung, die Hertz dem Problem gegeben hat, erledigt habe (so daß sich zu wundern auf inadäquates Verstehen zurückzuführen sein könnte), oder daß er in den *Prinzipien* noch gar nicht bis zur Darstellung seiner Sicht gekommen ist.

Immerhin sollte an dieser Stelle doch auch bemerkt werden, daß das angeblich bis zur Allgemeinen Relativitätstheorie unbeachtete „fundamentale Problem“ der Proportionalität von träger und schwerer Masse im zeitgenössischen Physikunterricht ein auf relativ hohem Niveau behandeltes Standardthema war (vgl. z. B. Poske 1915, 220–225). Die von Poske skizzierte Behandlungsart (wie letztlich jede gute Einführung) macht auch deutlich, daß hier gar kein „Problem“, sondern wiederum eine „Entscheidung“ vorliegt:

- „kein Problem“, weil die Identität von träger und schwerer Masse kein empirischer Befund ist von der Art, daß die Bestätigung durch Präzisionsmessung (Eötvös) nötig gewesen wäre, sondern weil beide Typen von „Masse“, überkreuz vernetzt (!) als Beschleunigung derselben Masse-Körper gemessen, die Kräfte erst definieren, welche umgekehrt ihre Identität belegen;
- eine „Entscheidung“, weil (analog der in Abschnitt 15.3 genannten Priorisierung der Elektrodynamik durch Lorentz-Invarianz) hier nun dem Raum, gemäß Einsteins Grundabsicht der weitestgehenden Parameter-Synthese, „seine Starrheit abgesprochen und seine Anteilnahme am physikalischen Geschehen“ zugesprochen werden soll (Einstein, zitiert nach Simonyi 1990, 420).

Der Schlüssel für mögliches Mißverstehen scheint mir zu sein (vgl. auch Klein 1995, 100f), daß die Wissenschaftsgeschichte als wesentlichstes Ergebnis der „Prinzipien“ herausstellt, daß Hertz die Mechanik ohne den Kraftbegriff aufbaue. Das erscheint mir so nicht richtig: nur mithilfe des Kraftbegriffs kann man eine Dynamik ja überhaupt formulieren. Aber er wird aus seiner mechanistischen ebenso wie seiner metaphysischen Bindung befreit. Das in der „Einleitung“ und den „Schlußbemerkungen“ (zu Buch 1 und 2) entfaltete Programm der „Prinzipien“ (Hertz 1894, 1–49 und §§ 295 und 734) scheint mir nämlich in Kürze dieses zu sein (was natürlich physikalisch konsistent auszuführen wäre, und zwar sowohl als historische wie systematische Rekonstruktion – wozu aber weder Platz noch meine instrumentell-theoretischen Fähigkeiten ausreichen):

Schon am Beispiel des Elektromagnetismus hatten wir dargestellt, wie Hertz darauf bedacht war, nicht: die Existenz von Kraftwirkungen schlechthin zu bestreiten, wohl aber, sie als formale, gegen ontologische Interpretationen neutrale Parameter zu behandeln.

Auch in der Mechanik, als der formalen Grundwissenschaft von den Körperbewegungen, beabsichtigt nun Hertz, durch weitestgehende Formalisierung des Kraftbegriffs Leerstellen, Platzhalter gewissermaßen, zu schaffen, in welche die dynamischen Wechselwirkungen als autonome Größen nur noch eingesetzt zu werden brauchen, deren physikalische Eigenschaften ansonsten aber unabhängig untersucht werden können. Dazu bediente er sich des Hamilton-Formalismus, dessen „Trick“ ja insbesondere in der Vereinheitlichung realer und virtueller Zwangskräfte besteht, die zunächst ohne ontologische, oder, wie man meist sagt, „physikalische“ Interpretation als äquivalent behandelt werden können. So wie beim Energiesatz alle die ontologisch verschiedenen „Kräfte“ unter dem gemeinsamen Dach der gewissermaßen „künstlichen,“ d. h. theoretischen Größe der „Energie“ in den Erhaltungssatz eingehen, so alle realen und virtuellen mechanischen „Kräfte“ formal in die gleichen Leerstellen des Hamilton-Formalismus. Das Ergebnis war bei Hertz, daß man beim Aufbau der Mechanik mit einem einzigen Grundprinzip auskommt, dem „Prinzip der geradesten Bahn,“ d. h. der Einheit von Trägheitsprinzip und Prinzip des kleinsten Zwanges.

Diese Reduktion der gesamten Mechanik auf das Prinzip der geradesten Bahn erinnert bereits sehr stark an Einsteins Vorgehen in der Allgemeinen Relativitätstheorie. Wie Einstein spricht auch Hertz von „verdächtigen Fernkräften“, und wenn er von „verborgenen Massen“ als möglichen Ursachen der Ablenkung von anderen Massenkörpern spricht, dann wiederum nicht, weil er „verborgene Parameter“ als reale Ur-Sachen in die Physik einführen wollte, sondern weil er durch einen „mechanischen“ Ausdruck für „virtuelle Zwangskräfte“ die vollständige Formalisierung des Kraftbegriffs durch eine Art „Gedankenexperiment“ illustrieren wollte, das dem Einstein'schen „Fahrstuhl-Experiment“ in gewissem Sinn äquivalent ist. Dieses besagt bei Einstein, daß „dieselbe Wirkung, welche von einem 'nicht mitrotierenden' System aus als Trägheit aufgefaßt wird, ... sich vom Standpunkt eines mitrotierenden Systems aus als Schwere interpretieren“ läßt, womit „die Wesensgleichheit von Schwere und Trägheit erwiesen“ sei (Einstein 1920a, 5). Analog Hertz: Für die Bahn von Massepunkten ist es gleichgültig, ob da (träge) „Massen“ oder (schwere) „Kräfte“ sind – es entsteht in jedem Fall eine „geradeste Bahn“. Der Raum wird somit in ähnlicher Weise „dynamisiert“ wie von Einstein, eine Art Äquivalenz von Massen, „Kräften“ und Raummetrik konzipiert.

Diesen Gedankenschritt, den später Einstein (und seither „die“ Physik allgemein) unbefangen vollzog, würde Hertz wohl nicht mit ähnlicher Unbefangenheit getan haben, und hier trennen sich Einsteins und Hertz' Wege („noch,“ da wir von dem einen das Ende nicht kennen). Was also steht für Hertz dem „im Wege“? Es ist (vgl. Klein 1995, 101) die für Einstein charakteristische Vereinheitlichung der Physik, die Hertz als Vermengung von formalen und empirischen Komponenten der Wissenschaft angesehen hätte, auf deren Unterscheidung er als Kantianer, der er von Jugend auf und sodann als Helmholtz-Schüler stets gewesen ist, größten Wert legte. Bekanntlich unterscheidet Kant (KrV, 1781) die formalen Strukturen unseres Erkenntnisvermögens, die als Bedingungen

a priori (d. h. unabhängig von Erfahrung) unvermeidlich in jede Erkenntnis eingehen, von den Erfahrungen, die wir mithilfe dieses Erkenntnisapparates aus sinnlichen Empfindungen zu Erkenntnisurteilen weiterentwickeln.

In Abschnitt 15.1a.) hatten wir gesehen, wie Hertz noch 1894 diese Struktur zur Unterscheidung der a priori- und Erfahrungs-Komponenten in seinem Bild von Raum und Zeit einsetzt. 1890 erwartet er (1891, 285) angesichts der Aporien der Elektrodynamik für bewegte Körper „die richtige Theorie“ als eine „solche, welche in jedem Punkte die Zustände des Äthers (so 1890, später also: des Raumes (P.K.)) von denen der eingebetteten Materie unterscheidet.“ Erst mit den Eigenschaften dieser „eingebetteten Materie“ (die, wie dargestellt, in die Leerstellen der allgemeinen Gleichungen wie Versatzstücke einzufügen sind) kommt es dann zur inhaltlichen Spezifikation aufgrund der Anteile der Erfahrung.

Deshalb ist das Problem der Äquivalenz von träger und schwerer Masse, das 1884 (A256, 121) als „unzweifelhaft reine Erfahrung“ konstatiert wird, in den „Prinzipien“ noch gar nicht angegangen, weil die letztere Arbeit sich ausdrücklich mit den allgemeinsten Grundlagen der Mechanik beschäftigt. Und wenn Hertz auch, gemäß „Schlußbemerkung zum zweiten Buch“ (Hertz 1894, 306f), in diesem nicht mehr nur die „denknotwendigen Beziehungen zwischen den Schöpfungen unseres eigenen Geistes erörtern“ wollte, sondern, wie es einer empirischen Wissenschaft zukommt, auch die „erfahrungsmäßigen Zusammenhänge zwischen Gegenständen der äußeren Beobachtung betrachten,“ so bleibt doch auch hier die Allgemeinheit der Untersuchung noch soweit gewahrt, daß (gegen den ersten Anschein!) auch ohne Spezifikation im Einzelnen sich „das Grundgesetz“ (der geradesten Bahn) als „hinreichend (erweist), um die ganze Fülle der Thatsachen zu umspannen, welche die Natur uns darbietet,“ oder, noch einmal variiert, als „hinreichend, den Anteil der Erfahrung an den allgemeinen Gesetzen der Mechanik erschöpfend darzustellen.“ Einsteins Vereinigung von Kinematik und Dynamik wäre ihm daher wohl als eine illegitime Vermengung formaler Erkenntnisstrukturen mit den empirischen Inhalten wohl höchst zweifelhaft vorgekommen (doch nicht als unannehmbar, sofern nur durch die Tatsachen erzwungen!)

Andererseits hätte er wohl nicht, wie Einstein (1920a, 5), wegen der „numerischen Gleichheit von Schwere und Trägheit“ noch eigens nach „Wesensgleichheit“ gefragt, da ihm, dem in dieser Hinsicht radikaleren Physiker, mit der formalen Fassung alles „Physikalische“ gesagt gewesen wäre.

Hier überschneiden sich die Denkstile beider, denn durch die Krümmung der Raummetrik werden dem „Raum“ doch wieder physikalische Eigenschaften zugeschrieben, was nun ausgerechnet Einstein dazu veranlaßt hat, die Äther-Hypothese gewissermaßen wiederzubeleben (Einstein 1920, Abs. 13 u. 18): „Indessen lehrt ein genaueres Nachdenken, daß (die) Leugnung des Äthers nicht notwendig durch das Relativitätsprinzip gefordert wird .... Zugunsten der Ätherhypothese (läßt sich) ein wichtiges Argument anführen. Den Äther zu leugnen bedeutet letzten Endes annehmen, daß dem leeren Raum *keinerlei physikalische Eigenschaften* (kursiv v. mir) besitzt. Mit dieser Auffassung stehen die fundamentalen Tatsachen der Mechanik nicht im Einklang. Das mechanische Verhalten eines im leeren Raum frei schwebenden körperlichen Systems hängt nämlich außer von den relativen Positionen (Abständen) und relativen Geschwindigkeiten noch von seinem

Drehungszustande ab, der physikalisch als ein dem System an sich zukommendes Merkmal aufgefaßt werden kann.“ Hierzu habe Newton seinen „absoluten Raum“ konzipiert, den er „ebensogut (hätte) „Äther“ nennen können; wesentlich ist ja nur, daß neben den beobachtbaren Objekten noch ein anderes, nicht wahrnehmbares Ding (sic!) als real angesehen werden muß, um die Beschleunigung oder die Rotation als etwas Reales ansehen zu können.“

Damit erhalten – Ironie der Geschichte! – absoluter Raum, Imponderabilia und Nicht-Observable (von denen z. Zt. die sog. „Dunkle Materie“ von vermeintlich unverzichtbarer Prominenz ist) erneut den status legitimer physikalischer „Modelle“ – fragt sich nur, ob in der „schlichten Gestalt der Natur selbst“ oder als ihr willkürlich appliziertes „buntes Gewand“.

15.6 Schluß

Ziehen wir eine schematische Bilanz (siehe Abb. 15.1):
Wollten wir ein Lieblingsspiel von Wissenschaftshistorikern spielen, genannt „Bestimmung von Prioritäten“, so zeigten unsere fragmentarischen Darlegungen, daß von den 6 für die Relativitätstheorie allgemein als konstitutiv angesehenen Aspekten einer (2-teilig) lange vorher bearbeitet, aber unbeachtet geblieben, als Scheinproblem herumgeschoben und von Hertz verändert wieder eingebracht worden war, drei weitere bereits von Hertz begonnen und in unterschiedlichen Graden auch gelöst worden sind. Die *Prinzipien der Mechanik* sind Hertz' tiefgreifender Versuch, das bis dahin Erreichte zu bilanzieren, woraus im Verlauf der Arbeit immer mehr ein Wettlauf mit dem Tode wurde. Hatte also Hertz, nach den experimentellen Erfolgen, aber der vorläufigen theoretischen Sackgasse seiner elektrodynamischen Arbeiten, „nichts Besseres zu tun“, als sich mit einem müßigen Luxusobjekt der Forschung herumzuplagen? Nein, sondern er war dabei, die Grundlagen der Physik des 20. Jahrhunderts zu legen und er hatte damit bei seinem Tode zehn Jahre Vorsprung! Einsteins Leistung bleibt es, daß er die vielen Facetten dieser und weiterer Vorarbeiten mit genialem Zugriff zu einem stimmigen, empirisch prüfbaren und eleganten System vereinigt hat – und damit Hertz' Kriterien einer guten Theorie (1894, 2f) souverän erfüllte, nämlich: „zulässig“, „richtig“ und „zweckmäßig“ zu sein.

15.7 Literatur

Bavink, Bernhard 1913, (9. Auflage) 1948 (zit.): *Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften.* Leipzig: Hirzel.

Binder, Harald Martin o.J.: *Wilhelm Ostwalds Energetik.* Mag. Universität Stuttgart. `http://magister.historia-data.com/`.

Buth, Manfred 1983: Zum Verhältnis von Protophysik und Relativitätstheorie. In: *philosophia naturalis* **20**, S. 213–223.

Einstein, Albert 1905: Zur Elektrodynamik bewegter Körper. In: *Annalen der Physik* 4. Folge, **17**, S. 891–921.

Einstein, Albert 1905a: Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichts betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. In: *Annalen der Physik* 4. Folge, **17**, S. 132–148.

Einstein, Albert 1920: *Äther und Relativitätstheorie.* Rede Universität zu Leiden 5.5.1920. Zitiert nach:
`http://www.mahag.com/rede.htm`.

Einstein, Albert 1920a: *Kurze Skizze zur Entwicklung der Relativitätstheorie.* In: Janssen, Michel; Schulmann, Robert; Illy, József; Lehner, Christoph und Diana Kormos Buchwald: *The Collected Papers of Albert Einstein, Vol. 7.* Princeton: Princeton University Press 2002, Doc. 50, S. 372–378.

Fölsing, Albrecht 1997: *Heinrich Hertz – Eine Biographie.* Hamburg: Hoffmann und Campe.

Haeckel, Ernst 1899/1919[11]/1961: *Die Welträtsel.* Leipzig: Kröner 1919, zitiert Berlin: Akademie 1961.

Helmholtz, Hermann von 1892: Elektromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung. In: *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften* LIII, 15. Dez. 1892, S. 1093–1109.

Hertz, Heinrich 1884/1999: *Die Constitution der Materie.* Hrsg. von Albrecht Fölsing. Berlin: Springer.

Hertz, Heinrich 1887: Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung. In: *Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften* XXVIII, 9. Juni 1887, S. 487–490.

Hertz, Heinrich 1889: *Über die Beziehung zwischen Licht und Elektrizität.* Leipzig: Barth (Gesammelte Werke, Bd. I), S. 339–354.

Hertz, Heinrich 1890: Über die Grundgleichungen der Elektrodynamik für bewegte Körper. In: *Annalen der Physik* **41**, S. 369–399 und in:
Hertz 1891, S. 256–285.

Hertz, Heinrich 1891: *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft.* Leipzig: Barth (Gesammelte Werke, Bd. II), S. 1–31: „Einleitende Übersicht"; S. 286–295: „Nachträgliche Anmerkungen".

Hertz, Heinrich 1894: *Prinzipien der Mechanik, in neuem Zusammenhange dargestellt.* Leipzig: Barth (Gesammelte Werke, Bd. III, hrsg. von Philipp Lenard).

Holton, Gerald 1973: Influences on Einsteins Early Work. In: Holton, Gerald: *Thematic Origins of Scientific Thought.* Cambridge/Mass.: Harvard University Press, S. 197–218.

Jacobi, Manfred 2007: Buchrezension „Hertz – Die Constitution der Materie"
`http://www.pro-physik.de/Phy/bookReviewDetail.do?mid=3&brid=19139`.

Kant, Immanuel 1781 (A), 1787 (B): *Kritik der reinen Vernunft.* Riga: Johann Friedrich Hartknoch 1781, (2. Auflage) 1787.

Klein, Peter 1994: Physik zwischen Feldauffassung und Atomismus – Heinrich Hertz zum 100. Todestag. Vortrag Hamburg 9.2.1994, DESY-Fortbildung (interne Publikation, 29 S.).

Klein, Peter 1995: Zur Geschichte der Relativitätstheorie als Protophysik. In: Jelden, Eva (Hrsg.): *Prototheorien – Praxis und Erkenntnis?* Leipzig: Universitätsverlag, S. 91–102.

Klein, Peter 2007: „Intermediate Matter“ – Conjectures on Imponderous Matter as induced by Key Concepts of Symmetry. In: *Visual Mathematics* vol. 9, No. 4. `http://www.mi.sanu.ac.yu/vismath/klein/index.html`.

Krafft, Fritz 1978: Der Weg von den Physiken zur Physik an den deutschen Universitäten. In: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* **1**, S. 123–162.

Lange, Heinrich 1954: *Geschichte der Grundlagen der Physik.* (Bd. I), 1961 (Bd. II). Freiburg: Alber.

Laue, Max 1911: *Das Relativitätsprinzip.* Braunschweig: Vieweg.

Mittelstaedt, Peter 1963: *Philosophische Probleme der modernen Physik.* Mannheim: Bibliographisches Institut ^{2}1966.

Mulligan, Joseph 2001: The Aether and Heinrich Hertz's The Principles of Mechanics. In: *Physics in Perspective* Vol. 3, issue 2, S. 136–164.

Newton, Isaac 1687: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica.* London. Zitiert nach der deutschen Übersetzung: Wolfers, Jakob Philipp (Hrsg.): *Mathematische Prinzipien der Naturlehre.* Berlin 1872 (Nachdruck: Darmstadt: WBG 1963).

Ostwald, Wilhelm 1895: *Die Überwindung des wissenschaftlichen Materialismus.* Leipzig: Veit.

Ostwald, Wilhelm 1912: Die Energie. Leipzig: Barth, S. 110–127 (Kap. 9): Die materiellen Faktoren.

Poske, Friedrich 1915: *Didaktik des physikalischen Unterrichts.* Leipzig: Teubner.

Simonyi, Karoly 1990: *Kulturgeschichte der Physik.* Thun, Frankfurt am Main: Harri Deutsch.

Unsöld, Albrecht 1970: H. Hertz, Prinzipien der Mechanik – Versuch einer historischen Klärung. In: *Physikalische Blätter* **26**, S. 337–342.

Wiederkehr, Karl Heinrich 2006: Photoeffekt, Einsteins Lichtquanten und die Geschichte ihrer Akzeptanz. In: *Sudhoffs Archiv* **90**, S. 132–142.

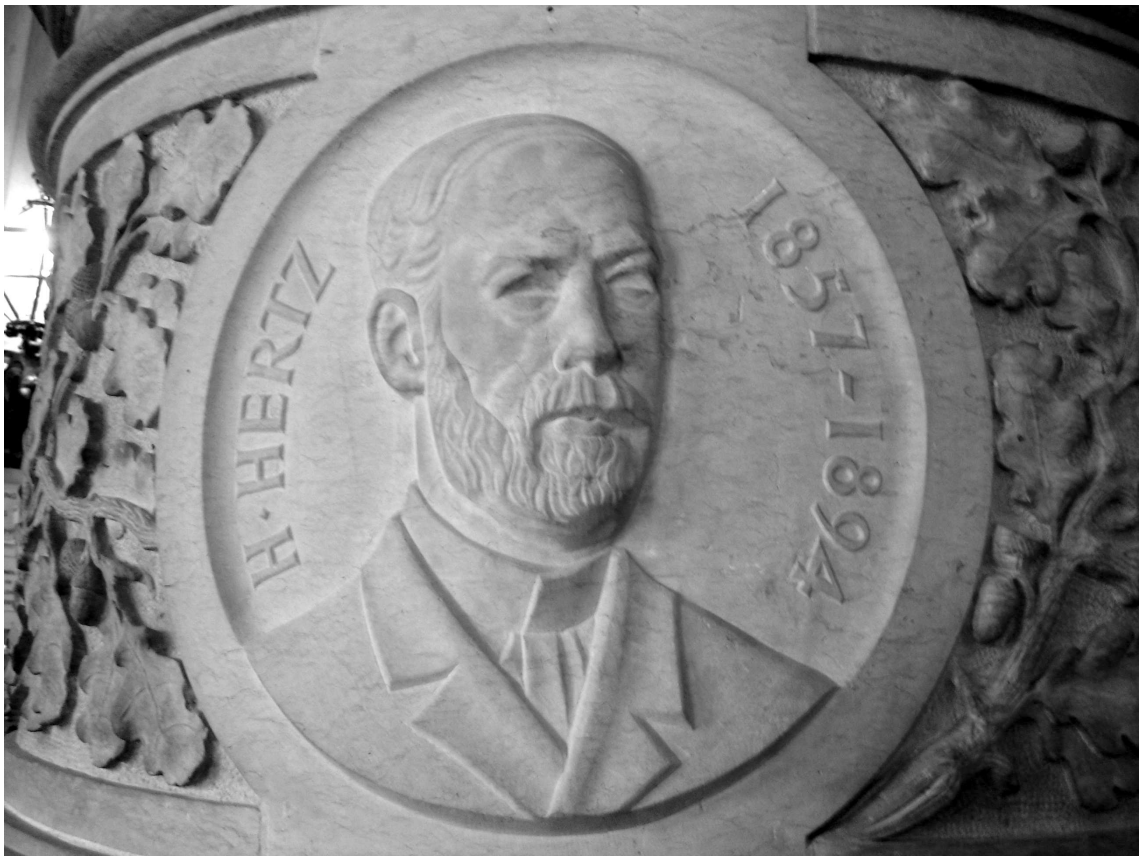


Figure 15.2:
Heinrich Hertz medaillon in Hamburg's city hall
Foto: Gudrun Wolfschmidt

HEINRICH HERTZ (1857–1894) – LIFE AND IMPACT

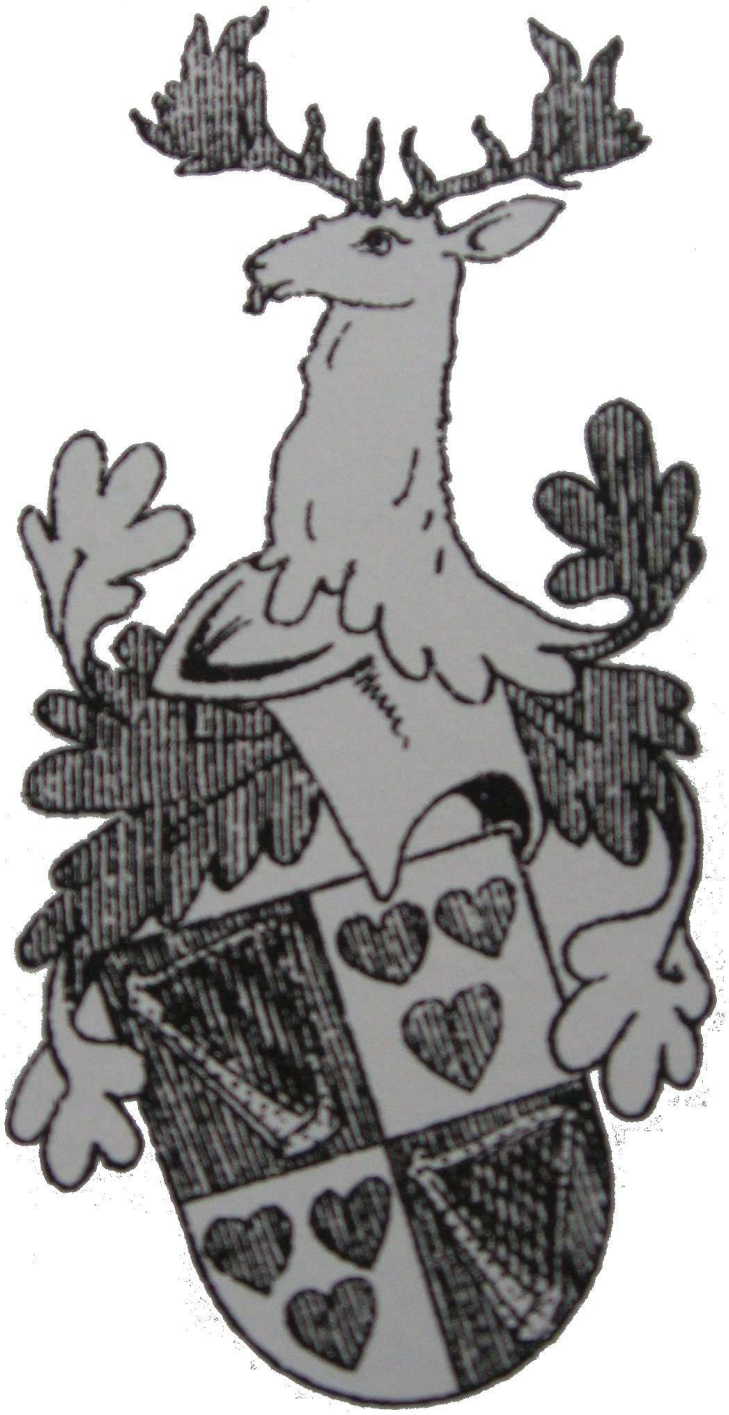


Figure 16.1:
Wappen der Familie Hertz

Die Familie Hertz – eine nichtjüdische Wissenschaftlerfamilie mit jüdischem Namen

Stefan L. Wolff (Munich)

Abstract: The Hertz family – a non-Jewish family of scientists with a Jewish name

Even today Heinrich Hertz is sometimes put in a Jewish context, although his both parents were Protestant Christians. His father had been baptized as a child together with his whole formerly Jewish family. During the life of Heinrich Hertz this fact played no important role any more. But the recollection of him has been influenced by it much stronger. Many reference books designate him as Jewish. In the time of National Socialism the memory of him as a "half-Jew" was erased in the public to a great extent. His daughter Mathilde, as well as his nephew Gustav are also incorporated in this investigation. Notwithstanding the fact that they stood even more distant to their Jewish roots, they were either dismissed by the laws of the National Socialists on account of their originally Jewish grandfather, or were obliged to give up their positions. Neither in their self-perception nor by the outside view they could be called "Jewish scientists". They had been descendants of an educated (upper) middle-class in which often conjugal connections between Christian and (formerly) Jewish partners had taken place in 19th century. Their grand-children, having Jewish roots therefore, sometimes not even aware of it, were reminded of this background by the Nazi-regime.

16.1 Einleitung

Heinrich Hertz (1857–1894) wird häufig mit dem Judentum in Verbindung gebracht und manchmal sogar als „jüdischer Gelehrter“ bezeichnet.[1] Das bezieht sich allein auf die Herkunft seines Vaters, dessen Eltern noch beide als Juden geboren worden waren, sich dann aber mit ihren Kindern zusammen hatten protestantisch taufen lassen. Die Mutter stammte aus einer schon lange in Frankfurt ansässigen protestantischen Familie. In

[1] So z. B. Heppner 1913, S. 44–46.

der Biographie von Heinrich Hertz wirkte sich dieser jüdische Hintergrund – wie noch zu schildern sein wird – nicht mehr aus, aber in der späteren Erinnerung an ihn, insbesondere in der Zeit des Nationalsozialismus, fand er dann doch eine größere Beachtung. Auch von jüdischer Seite ist Hertz im allgemeinen Ringen um gesellschaftliche Anerkennung mitunter als einer der ihrigen reklamiert worden.[2] Die Nationalsozialisten machten ihn gemäß ihren gesetzlichen Definitionen postum zu einem „jüdischen Mischling".[3] Dabei scheint sich eine Dominanz in der Wahrnehmung des Jüdischen bei seiner Person erhalten zu haben. So hieß es aus Anlaß des 150. Geburtstages 2007 auf einer Internetseite des ZDF: *„Da Heinrich Hertz Jude war, wurde sein Name in der Nazizeit getilgt."*[4]

Unsere Untersuchung erstreckt sich außerdem auf die nächste Generation der Familie Hertz, in der eine Tochter (Mathilde) und ein Neffe von Heinrich Hertz als Wissenschaftler von dem nationalsozialistischen Gesetz zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums betroffen waren. Anders als bei der nachträglichen Einstufung von Heinrich Hertz zeigte sich in diesen beiden Fällen fast 100 Jahre nach der Taufe eines Großvaters der aktuelle Gegensatz zwischen dem Selbstverständnis bzw. der sozialen Prägung und der durch die Nationalsozialisten oktroyierten Klassifizierung als „Nichtarier". Dennoch werden beide bisweilen zu den „jüdischen Wissenschaftlern" gerechnet und Heinrichs Neffe Gustav Hertz geht dabei in manche Statistik „jüdischer Nobelpreisträger" ein.[5] Zum einen ist es mißverständlich, weil man diese weitgefaßte Gruppe der von den Nationalsozialisten „rassisch" Diskriminierten nicht mit dem einen Prozent, das die jüdische Bevölkerung lediglich ausmachte, in Beziehung setzen darf. Die grundlegende Gesamtheit wäre dann deutlich größer. Zum anderen erscheint es problematisch, wenn Untersuchungen, die sich mit dem speziellen Erfolg „jüdischer Wissenschaftler" beschäftigen, auch Personen wie die hier vorgestellten Mitglieder der Familie Hertz einschließen.[6] Sie weisen keine der spezifischen Charakteristika einer „jüdischen Sozialisation" oder Identität mehr auf, auch wenn diese von der religiösen Orientierung weitgehend unabhängig sein können.[7] Allerdings verblieb im Prinzip die Erkennbarkeit, denn Hertz war ein häufiger und typischer Name unter deutschen Juden. Er leitet sich von Hirsch ab, dem Symbol eines der zwölf Stämme Israels.[8] Von daher hätte dies zu einer antisemitisch begründe-

[2] Wininger, Band 3 (1928), S. 69–70.

[3] Siehe z. B. Meyers Lexikon, 8. Auflage, Band 5, Bibliographisches Institut: Leipzig 1938, S. 1143. Im Volksbrockhaus, Zehnte Auflage, Leipzig 1943, S. 293 heißt es dagegen „Vater Jude".

[4] `http://www.zdf.de/ZDFde/inhalt/20/0,1872,7000468,00.html`.

[5] Beyerchen 1982, S. 77. Auch Wininger 1928, S. 69.

[6] Wenkel 2007: Dieser Artikel enthält eine umfangreiche, aber hinsichtlich der unterschiedlichen Herkunft nicht weiter differenzierte Liste „jüdischer" Naturwissenschaftler und Mediziner, darunter alle drei hier behandelten Personen. Kaznelson 1959: Darin werden bewußt die „rassischen" Kriterien des Nationalsozialismus verwendet und demzufolge „Juden und Judenstämmlinge" in den Kreis der Betrachtungen einbezogen.
Die Familie Hertz ist hier in diesem Sinn folgerichtig vertreten: Gustav Ferdinand (Heinrichs Vater), S. 545, Heinrich S. 402–404, Gustav S. 410 und Mathilde, S. 458. Nicht enthalten dagegen in: Heinsohn 2006. Zum Erfolg „jüdischer Wissenschaftler": Volkov 1990 und Volkov (1997).

[7] So das Bedürfnis nach kultureller Adaption durch Bildung, die damit zu einem Teil der jüdischen Identität wurde: Toury 1977, S. 178–210; Mosse 1990; Preston 1972: Diskriminierungen führen zu einer überproportionalen Wahl von wissenschaftlichen Nischen.

[8] Hirsch: Sinnbild des Stammes Naftali, Oppenheimer 1971, S. 290.

ten Ausgrenzung Anlaß geben können. Es ist bekannt, dass allein die Vermutung über einen jüdischen Hintergrund, selbst in Fällen, wo sie gar nicht zutraf, an den deutschen Universitäten der Kaiserzeit und der Weimarer Republik von Nachteil sein und zu einem Außenseiterstatus führen konnte.[9] Aber hier spielte dies nach den vorliegenden Unterlagen eine höchstens untergeordnete Rolle. Die Familie Hertz steht weniger für den Erfolg der jüdischen Deutschen als vielmehr für denjenigen einer gehobenen Schicht eines Bildungsbürgertums, unter dessen Vorfahren es im 19. Jahrhundert nicht selten zu ehelichen Verbindungen zwischen einem christlichen und einem jüdischen bzw. vom Judentum zum Christentum konvertierten Partner gekommen war.

16.2 Die Geschichte der Familie Hertz im 18. und 19. Jahrhundert – vor dem Hintergrund der allgemeinen Situation der Juden in Hamburg

Die Vorfahren von Heinrich Hertz stammten aus Hildesheim. Der Ururgroßvater Benjamin Wolff Hertz (1720–1788) war Bankier des Bischofs von Hildesheim sowie Vorsitzender der dortigen jüdischen Gemeinde.[10] Dessen vierter Sohn David Wolff Hertz (1757–1822) übte den Beruf des Juweliers aus und zog gegen 1785 nach Hamburg, wo die wirtschaftlichen Aussichten offenbar besser schienen und sich bereits im 17. Jahrhundert andere Juden aus Hildesheim niedergelassen hatten. Wohl nicht zufällig entstammte auch seine Ehefrau Schöne, genannt Schönchen, geborene Hertz (1760–1834), diesem Umfeld. Der vierte Sohn aus dieser Verbindung wiederum, Wolff David, später Heinrich David (1797–1863), konnte sich erfolgreich an dem aufblühenden Manufakturwarenhandel mit England beteiligen, weil er nicht nur in Hamburg, sondern über eine Beteiligung ebenso in Leeds als Kaufmann tätig war.[11] Er hatte es bereits zu beträchtlichem Wohlstand gebracht, als er 1826 mit Betty Oppenheim (1802–1872) eines der zwölf Kinder des Begründers des gleichnamigen Bankhauses heiratete.[12] Geld und gesellschaftlicher Status kamen hier zusammen, aber als Juden oder auch allgemeiner als Nicht-Lutheraner verfügten sie trotzdem nicht über die vollen Bürgerrechte. Damit fehlten die Voraussetzungen für die Zulassung zu vielen Berufen, beispielsweise zu einer Advokatur, wie sie dem Hamburger Juden Gabriel Riesser (1806–1863) zu jener Zeit deshalb noch verweigert wurde. Seine Publikationen machten ihn in der Folgezeit zu einem der Protagonisten für die Emanzipation der Juden in Deutschland.[13] Auch in Hamburg, wo die jüdische Gemeinde um 1840 mit etwa 7000 Mitgliedern oder mehr als 4% der Gesamtbevölke-

[9] Interview mit Alfred Landé (1888–1976), American Institute of Physics, Washington, über seine dementsprechende Situation in Tübingen, wo er zwischen 1922 und 1930 lehrte und sich als angeblicher Jude und Kommunist ausgegrenzt sah.

[10] Zur Familiengeschichte: Susskind 1995, S. 15–25. Auch Deutsches Geschlechterbuch.

[11] Susskind 1995, S. 17. Fölsing 1997, S. 20. Siehe dazu auch Tiggemann 1991, S. 420.

[12] Zur Genealogie der Familie Oppenheim: Neue Deutsche Biographie, Band 19, 1999, S. 560.

[13] Wippermann, Karl: Gabriel Riesser, Allgemeine Deutsche Biographie, Band 28 (1889), S. 586–589. Kampmann 1981, S. 172–173.

rung die zeitweise größte in Deutschland war,[14] ließ diese noch auf sich warten. Nur während der kurzen Zeitspanne der französischen Besatzung zwischen 1811 und 1814 waren den Juden die Bürgerrechte und Gewerbefreiheit gewährt worden, aber dennoch hatten sie diese Periode als überwiegend repressiv empfunden und von den neuen Rechten nur zögernd Gebrauch gemacht.[15] Trotz ihrer Beteiligung an den Befreiungskriegen blieb den Juden die erstrebte allgemeine rechtliche Gleichstellung anschließend versagt. Erst mit der Verfassungsreform von 1860 kam es in Hamburg schließlich zu einer sehr weitgehenden Trennung von Kirche und Staat, die alle Diskriminierungen aufgrund einer Religionszugehörigkeit beendete.[16]

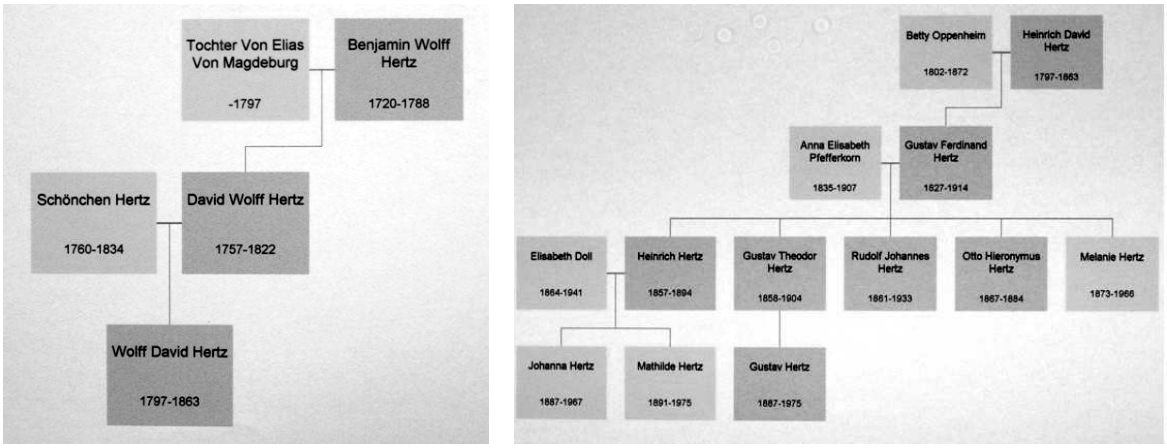


Abbildung 16.2:
Stammbaum der Familie Hertz – links: jüdisch, rechts: christlich

Zusammenstellung: Stefan L. Wolff.

Das war für Heinrich David Hertz noch nicht absehbar. Er wollte die Zurücksetzung seiner Familie nicht länger akzeptieren. Da die Verbindung zu der angestammten Religion für ihn keinen hohen Stellenwert mehr besaß, bot die Taufe im Jahr 1834 einen individuellen Ausweg. Erst vollzog er in Leipzig diesen Schritt allein, einige Wochen später folgte seine Frau mit den damals drei Kindern.[17] Die drei männlichen Nachkommen heirateten jeweils christliche Partnerinnen.[18] Der älteste Sohn, Gustav Ferdinand (1827–1914), war der erste in der Familie, der ein Studium absolvierte und 1849 mit

[14] Zahlenangabe ohne Altona. In absoluten Zahlen noch vor Posen, Berlin und Breslau. Nach Toury 1977, S. 34. Auch Bajohr 2005, S. 477.

[15] Süß 1989, S. 282. Herzig 1991, S. 68–69.

[16] Herzig 1991, S. 73.

[17] Susskind 1995, S. 20. Fölsing 1997, S. 21. Mindestens eine Schwester Eva (1805–1886) und ein Bruder Dagobert (1809–1889) von Betty Oppenheim vollzogen 1831 bzw. 1839 ebenfalls diesen Schritt der Konversion zum Protestantismus. Nach NDB, Band 19, 1999, S. 560. Heinrich David Hertz und Betty Oppenheim hatten später insgesamt sechs Kinder.

[18] In Hamburg gab es laut Volkszählung vom Mai 1939 einen besonders hohen Prozentsatz von „Mischlingen 1. und 2. Grades“, wobei keine Differenzierung zwischen diesen beiden Gruppen vorgenommen wurde. Das ist ein Indiz für die Häufigkeit von „Mischehen“ in Hamburg, die bei den „Mischlingen

dem Doktor der juristischen Fakultät der Universität Göttingen abschloß. Er heiratete 1856 die Schwester eines Frankfurter Studienkollegen und Tochter eines Arztes, Anna Elisabeth Pfefferkorn (1835–1907). Gustav Ferdinand Hertz stieg später als Senator und Leiter der Justizbehörde in die politische Führungselite Hamburgs auf. Ihr ältester Sohn war Heinrich Hertz, der wie seine Eltern als evangelischer Christ aufwuchs.[19]

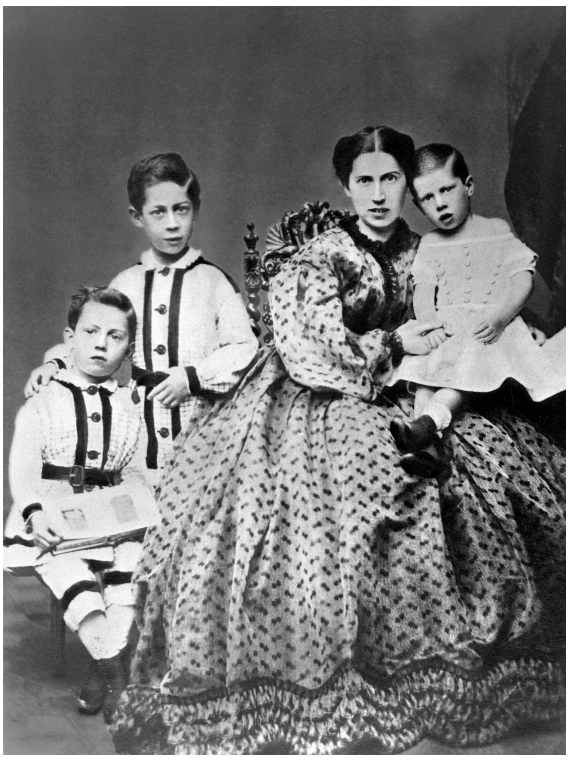


Abbildung 16.3:
Links: Die Mutter Anna Elisabeth Hertz, geb. Pfefferkorn (1835–1907) mit den drei Söhnen Heinrich Rudolph (1857–1894), Gustav Theodor (1858–1904) und Rudolf Johannes (1861–1933); nicht abgebildet sind die jüngeren Geschwister Otto Hieronymus (1867–1884) und die Schwester Emma Melanie (1873–1966).

Rechts: Senator Gustav Ferdinand Hertz (1827–1914), der Vater von Heinrich Hertz (1827)

Foto: Deutsches Museum (R 1672_02) und (BN 32020)

2. Grades“ zumeist auf Eheschließungen des 19. Jahrhunderts zurückgehen müssen: Bajohr 2005, S. 477.

[19] Susskind 1995, S. 23–25. Fölsing 1997, S. 21–22.

16.3 Keine nachweisbaren Diskriminierungen von Heinrich Hertz

Im studentischen Leben kam es erst seit den 1880iger Jahren im Verbindungswesen zunehmend zu Ausgrenzungen jüdischer Studenten, was schließlich in der Gründung eigener, exklusiver jüdischer Organisationen mündete. Aber vor 1880 war eine Mitgliedschaft zumeist noch ohne große Schwierigkeiten möglich.[20] So unterschied sich Hertz hier nicht von seinen jüdischen Kommilitonen, wenn er sich 1876 in Dresden einer schlagenden Verbindung wie den „Cheruskern“ anschloß. Allerdings unterzog sich Hertz keiner Mensur und bei dem anschließenden Ortswechsel erneuerte er seine Mitgliedschaft nicht.[21] Diese Art der studentischen Rituale lag ihm weniger. Aber der im Kaiserreich prestigeträchtige Status des Reserveoffiziers war ihm offenbar sehr wichtig und 1881 wurde seinem dementsprechenden Antrag in Berlin nach einigen Monaten stattgegeben.[22] So war es ihm gelungen, einen gesellschaftlichen Rang zu erklimmen, der den meisten jüdischen Deutschen gerade in Preußen versagt blieb. Von den nach 1880 in der preußischen Armee dienenden 25–30.000 jüdischen Einjährig Freiwilligen wurde keiner zum Reserveoffizier befördert, von 1.200–1.500 zum Christentum Konvertierten etwa 300, also gut 20%.[23]

In seinem akademischen Werdegang stieß er ebenfalls nicht an jene Schwellen, die den jüdischen Kollegen die Karriere zumindest erschwerte. Er mußte nicht unverhältnismäßig lange auf eine Berufung warten und war im Lauf des Jahres 1888 sogar in der komfortablen Lage, sich einen Lehrstuhl unter mehreren auswählen zu können.[24] Ein potentiell „jüdischer Name“ konnte ansonsten Probleme bereiten. Das zeigte sich beispielsweise bei einer 1894 ausgesprochenen Empfehlung für den Physiker Otto Wiener (1862–1927), über den noch extra die Information nachgereicht wurde, dass er trotz dieses Namens kein Jude sei.[25] Heinrich Hertz hat offenbar solche Schwierigkeiten nie kennengelernt.

16.4 Die Erinnerung an Heinrich Hertz

Hertz ist immer wieder in Nachschlagewerken, die allein jüdische Personen behandeln sollten oder in Aufsätzen, die sich mit „jüdischen Wissenschaftlern und Erfindern“ beschäftigten, genannt worden. Kohuts „Berühmte israelitische Männer und Frauen in der Kulturgeschichte der Menschheit“ von 1901 führte ihn unter der Physik an erster Stelle an.[26] In anderen Werken ist von ihm als dem „zu früh verstorbene[n] jüdische[n] Profes-

[20] Nach 1883 sei es schwierig geworden, als Jude noch Mitglied eines Corps zu werden: Liebermann 1988, S. 40. Vgl. die weiter zurückliegende Situation des damals noch ungetauften Emil Warburg (1846–1931), der sich 1863 der Burschenschaft Alemannia anschloß, wobei die Corps von den Burschenschaften zu unterscheiden sind: Grüneisen 1926, S. 203.

[21] Fölsing 1997, S. 55–57.

[22] Ebd., S. 156–158.

[23] Messerschmidt 1996, S. 47. Vgl. als Beispiel die Ablehnung des Bruders von Liebermann von Wahlendorf im Jahr 1883: Liebermann 1988, S. 39.

[24] Gießen, Berlin und Bonn. Hertz entschied sich für Bonn: Fölsing 1997, S. 355–367.

[25] Kundt an Althoff 4.5.1894, nach Wolff (1992), S. 442; vgl. dazu allgemein auch Bering 1987.

[26] Kohut 1900/1901, Band 2, S. 234.

Abbildung 16.4:
Der junge Heinrich Rudolph Hertz (1847–1894) in Uniform
Foto: Deutsches Museum (R 1672_3)

sor“ die Rede.[27] Ein Artikel aus dem Jahr 1913, worin Hertz einmal korrekt als Enkel eines Hamburger Juden Erwähnung fand, machte deutlich, dass es bei dieser Präsentation von Hertz auch um die Abwehr rassischer Diskriminierung ging. Der Autor bediente sich einer ähnlichen Argumentationsweise, wenn er zeigen wollte, *„was die Wissenschaft und Zivilisation der gesamten Kulturwelt von Söhnen unseres Volksstammes an Anregungen und Beiträgen entgegengenommen haben, welche Summe von Kulturwerten die Menschheit den Söhnen unserer, angeblich inferioren Rasse zu danken hat.“*[28] Die etwas differenziertere Kenntnis von den familiären Zusammenhänge setzte sich allgemeinen Bewußtsein aber nicht fest, denn 1926 berichtete eine jüdische Zeitung etwas überrascht von Recherchen der *„Gesellschaft für jüdische Familienforschung“*, *„daß Heinrich Hertz, der berühmte Entdecker der elektrischen Wellen, nicht wie meist behauptet, als Jude geboren wurde, sondern als Sohn christlicher Eltern.“*[29]

[27] Heppner 1913, S. 46. Auch so in Wininger 1928, Band 3, S. 70.
[28] Grunwald (1913), Nr. 11, Sp. 877.
[29] Der Morgen, Jahrgang 2 (1926) Nr. 4, S. 414.

Schon sehr bald nach der Machtübernahme der Nationalsozialisten begann man den Namen von Heinrich Hertz aus dem Bereich der besonderen öffentlichen Würdigung zu entfernen. Das betraf die Benennung von Strassen, Bildungs- und Forschungsinstitutionen oder die Aufstellung von Gedenkplaketten oder Denkmälern.

Das 1928 gegründete Institut für Schwingungsforschung in Berlin, das trotz einiger Stiftungsprofessuren damals noch nicht Teil der TH Berlin war, trug bis 1933 den Namen „Heinrich Hertz Institut für Schwingungsforschung", was in der Zeit des Nationalsozialismus auf „Institut für Schwingungsforschung" reduziert wurde.[30]

In Hamburg wurde aus dem seit 1907 nach Heinrich Hertz benannten Gymnasium 1935 das „Realgymnasium am rechten Alsterufer" und im Rathaus ließ man ein Gedenkmedaillon beseitigen.[31]

Der ranghöchste NS Rundfunkfunktionär Eugen Hadamovsky (1904–1945) stigmatisierte Heinrich Hertz 1934 nicht nur, sondern sprach ihm außerdem seine wissenschaftliche Bedeutung ab, wenn er unter Ignoranz von Grundlagenforschung glaubte feststellen zu können:

> *„Nicht der Jude Heinrich Hertz, der keinerlei Beziehungen zur Funktechnik hatte, und der erst recht keinerlei Erfindungen auf dem Gebiete des Rundfunks gemacht hat, sondern der junge italienische Student und heutige faschistische Senator Guglielmo Marconi und andere Erfinder schufen am Ende des 19. Jahrhunderts die Unterlagen für Funktelegraphie."*[32]

Eine zentral organisierte Tilgung des Namens von Heinrich Hertz gab es im polyzentrischen Nationalsozialismus nicht. Das Vorgehen hing von den jeweiligen lokalen Umständen ab. So verblieb die Büste von Hertz im Ehrensaal des Deutschen Museums in München vermutlich, weil dort niemand daran Anstoß nehmen wollte[33] und auch manche Strasse behielt ihren Namen, wie z. B. Max von Laue (1879–1960) an die Witwe von Heinrich Hertz im September 1937 berichtete: *„Erst vor wenigen Tagen sah ich in Flensburg die „Heinrich Hertz-Straße"; sie führt von dem Stadtinneren zur dortigen Sendestation für drahtlose Telegraphie. Ich muß mich wundern, daß sie der allgemeinen Umtaufung bisher entgangen ist."*[34] Es waren aber die Ausnahmen. In der Zeit des Nationalsozialismus war die öffentliche Würdigung eines, wie es im damaligen Sprachgebrauch hieß, halbjüdischen Physikers, unerwünscht.

Davon war aber die wissenschaftliche Bewertung von Hertz zunächst einmal nicht betroffen. Allerdings gab es in der kleinen, zeitweise in manchen Regionen einflußreichen Gruppe, die der sogenannten „Deutschen Physik" anhing, eine spezielle Interpretation.

[30] Noll 2001.

[31] Schule: Daschner 2007. Rathaus: 100 Jahre Hamburger Rathaus 1897–1997, Die Rathausdiele: `http://fhh1.hamburg.de/fhh/internetausstellungen/rathaus/Bau/diele.htm`.

[32] Hadamovsky 1934, S. 111. Den Hinweis verdanke ich Wolfgang König.

[33] Wahrscheinlich verblieb die Büste tatsächlich die ganze Zeit im Ehrensaal des Deutschen Museums, denn sowohl der englischsprachige Führer von 1938 als auch der deutschsprachige von 1942 erwähnen sie: Deutsches Museum Munich. Illustrated Guide, 1938, S. 54; Deutsches Museum, 1942, S. 115. Der Direktor des Museums Bäßler antwortete Laue auf die Anfrage vom 7.2.1956, ob die Büste noch existiere, am 10.2.1956, sie sei unversehrt durch den Bombenkrieg gekommen, DMA VA 2165.

[34] Laue an Elisabeth Hertz, September 1937, Privatarchiv Christa Hertz, nach Jaeger 1996, S. 255.

Sie wurde maßgeblich von Philipp Lenard (1862–1947) geprägt, der noch selbst Assistent bei Hertz gewesen war. Im Rückblick sah er sich u. a. deshalb um die Entdeckung der dann von Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) nachgewiesenen Strahlen gebracht, weil er nach dem Tod von Hertz unter beträchtlichen Zeitverlust für seine eigenen Forschungen dessen Buch über Mechanik herauszubringen sich verpflichtet hatte.[35] In seinem Werk über die großen Naturforscher ordnete Lenard die bedeutenden experimentellen Leistungen von Hertz dessen gesunden „arischen" Teil zu, während bei der Arbeit über die erwähnte Mechanik nach seiner Ansicht *„stark jüdischer Geist zum Durchbruch kam"*.[36] Diese angebliche innere Zerrissenheit von Hertz führten einige Studenten der Universität Heidelberg in einer Schrift zu Ehren Lenards noch detaillierter aus. Demnach wäre Hertz *„von eigenartigem schwer verständlichen Charakter. Die bei ihm vorhandene Blutmischung der jüdischen und der nordischen Rasse spiegelt sich wider in einer inneren Zwiespältigkeit, welche auf der einen Seite Eigenschaften eines nordischen Naturforschers, auf der anderen eine uns fremde Denkweise erkennen läßt."*[37] Der Karlsruher Professor Alfons Bühl (1900–1945), ebenfalls ein Anhänger jener „Deutschen Physik", veranlaßte 1937 eine Untersuchung von Studenten der TH Karlsruhe über die „rassische Gebundenheit" des Schaffens von Hertz, die als Reichssiegerarbeit der Sparte „Deutsche Naturerkenntnis" eine besondere Auszeichnung errang. Darin wurde die Mechanik von Hertz wieder in gleicher Weise als Folge seines „jüdischen Blutanteils" gedeutet.[38] Die Person von Hertz diente auf diese Weise also gleich in doppelter Hinsicht als besonders illustratives Beispiel für den von der „Deutschen Physik" behaupteten Zusammenhang von Rasse und physikalischer Denkweise. Solche Bewertungen beschränkten sich aber im wesentlichen auf den in sich recht abgeschlossenen Kreis der Anhänger jener „Deutschen Physik".

Aber die Frage nach dem Umgang mit dem Namen von Hertz sollte schließlich noch an die gesamte Physikerschaft bzw. an ihre Berufsorganisation in Deutschland herangetragen werden. Im Jahr 1939 wurde die erst 1933 international eingeführte Bezeichnung Hertz (Abkürzung Hz) für die Frequenzeinheit von dem „Verband Deutscher Elektrotechniker" zur Disposition gestellt. Sie sollte nach dessen Ansicht künftig besser in „Helmholtz" umbenannt werden, wofür die Schwelle dafür nicht so hoch erschien, weil dies sogar unter Beibehaltung der bisherigen Abkürzung möglich gewesen wäre. Dazu suchte der Verband die Unterstützung der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG). Peter Debye (1884–1966) schrieb in seiner Eigenschaft als Vorsitzender der DPG daraufhin siebzehn Vorstandskollegen an, von denen ihm dreizehn antworteten.[39] Debye hat Aus-

[35] Lenard 1995, S. 21–31.

[36] Lenard 1941, S. 330. Noch nicht so in Lenard (1937), S. 316–326. Dazu auch Schönbeck 2003, S. 375. Dabei bedient sie sich völlig undistanziert des damaligen diskriminierenden Sprachgebrauchs, wenn sie Hertz in ihrer Erläuterung als „Halbjuden" bezeichnet.

[37] Kubach 1937, 26–28.

[38] Hublow (1938).

[39] Rundfrage von Debye an die Vorstandsmitglieder der DPG mit Bezug auf das nicht im Archiv befindliche beigefügte Schreiben des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, 29.11.3939, MPGA, III. Abt., Rep. 19, NL Debye, Nr. 1017, Bl. 35–39. In einer nicht datierten Liste fehlen allerdings noch sechs Antworten, ebd., Bl. 36.

züge von elf dieser Stellungnahmen als „bemerkenswert“ dokumentiert.[40] Vier Physiker bekundeten in der Tat Zustimmung für einen derartigen Vorschlag, darunter der spätere Vorsitzende Carl Ramsauer (1879–1955) und der aktive Nationalsozialist Eduard Steinke (1899–1963), der seine Begründung in völkisches Vokabular zu kleiden wußte:

> *„Eine konsequente Durchführung der heutigen Volkstumspolitik läßt es bald selbstverständlich erscheinen, auch auf dem Gebiete der Wissenschaft die Leistungen volksfremder Forscher nicht unnötigerweise in den Vordergrund zu schieben, insbesondere wenn gleichwertige Leistungen deutscher Forscher vorliegen.“*[41]

Mehrere andere wie Jonathan Zenneck (1871–1959) umgingen die gesamte Problematik, weil sie überhaupt keine Notwendigkeit für eine besondere Bezeichnung der Frequenz sahen und sie nach eigener Angabe bis dahin nie verwendet hätten. Max von Laue zog sich einfach auf einen formalen Standpunkt zurück, wenn er darauf hinwies, dass die Physiker bei der Benennung nicht gefragt worden seien und insoweit auch jetzt keine Position beziehen müßten.[42] Aber diese Diskussion fiel im November 1939 bereits in die Zeit der ersten Kriegsmonate und führte zu keinem nachweisbaren Ergebnis mehr. Dennoch stellt sie einen Beleg dafür dar, dass sich die maßgeblichen Mitglieder der DPG mit einer solchen Frage tatsächlich ernsthaft auseinandersetzten und dabei zu keiner eindeutigen Antwort gelangten.

16.5 Biographische Skizze von Mathilde Hertz

Die beiden Töchter Mathilde (1891–1975) und Johanna (1887–1967) waren erst drei bzw. sechs Jahre alt, als ihr Vater so früh verstarb. Johanna wurde Kinderärztin. Mathilde, die jüngere der beiden Schwestern, schlug mit einem Umweg die wissenschaftliche Laufbahn ein, der die Nationalsozialisten mit ihren Beamtengesetzen in Deutschland schließlich ein Ende setzen sollten.[43]

Nach dem 1910 abgelegten Abitur durchlief sie zunächst eine künstlerische Ausbildung an der Akademie der bildenden Künste in Weimar sowie an den Kunstgewerbeschulen in Karlsruhe und Charlottenburg.[44] Im Jahr 1916 war sie an der Gestaltung der Büste ihres Vaters für den Ehrensaal des Deutschen Museums beteiligt. Diese Mitarbeit verdankte sie vor allem dem ausdrücklichen Wunsch der „Hamburger Wissenschaftlichen Stiftung“ und dem Reeder Hermann Blohm (1858–1930), der über diese Stiftung die Finanzierung der Büste gewährleistete.[45] Das spricht für eine weiterhin bestehende Prominenz der Familie

[40] Ebd., Bl. 37–39.

[41] Ebd., Bl. 37–38. Ramsauer: Bl. 38. Eduard Steinke war seit 1940 Dozentenführer an der Universität Freiburg und Obmann der NSDAP: Martin, 12. Die beiden übrigen Zustimmungen kamen von Wilhelm Schütz (1900–1972) aus Königsberg und Hermann Senftleben (1890–1975) aus Münster.

[42] Ebd., Bl. 37 und 39.

[43] Übersichtsartikel von Kressley 2008. Rürup 2008, S. 221–224.

[44] Personalbogen Deutsches Museum, unterzeichnet 23.5.1922, DMA PA 0819.

[45] Oskar von Miller (Deutsches Museum) an Reichsrat Ferdinand Freiherr von Miller, Direktor der Akademie der bildenden Künste, 23.3.1916; Blohm an Deutsches Museum, 11.5.1916, Blohm hatte

in der Hamburger Oberschicht. Im Deutschen Museum bekundete man den Spendern gern, dass ihre Intention realisiert worden sei:

> *„Wir freuen uns, dass durch Ihre gütige Stiftung das Denkmal von Hertz für alle Zeiten bekunden wird, welch hohes Verständnis die grundlegenden Arbeiten von Heinrich Hertz in den wissenschaftlichen Kreisen seiner Vaterstadt gefunden haben.“*[46]

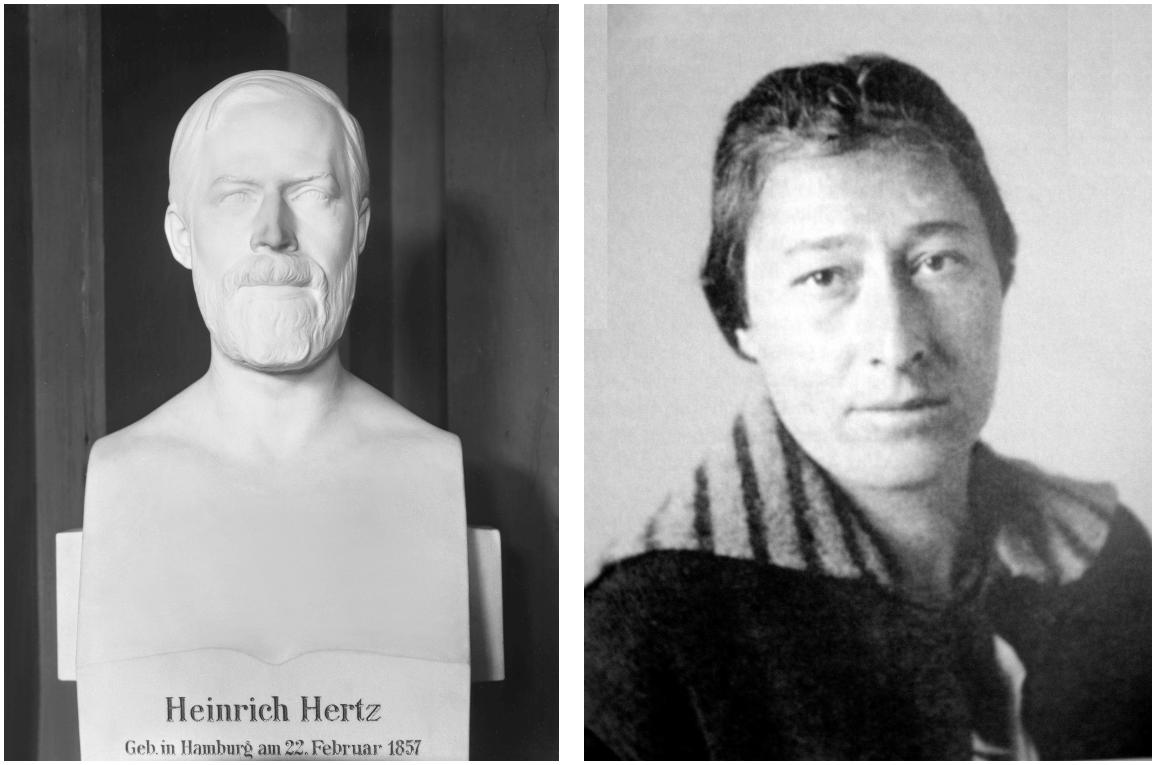


Abbildung 16.5:
Links: Heinrich Hertz-Büste im Ehrensaal des Deutschen Museums, gestaltet von Mathilde Hertz, 1916
Rechts: Mathilde Hertz (1891–1975)
Foto: Deutsches Museum (BN 01966)

Mathilde Hertz blieb am Deutschen Museum, wo sie zwischen 1918 bis 1923 einer Tätigkeit in der Bibliothek nachging.[47] Währenddessen begann sie an der Universität München Zoologie und Paläontologie zu studieren. Nach ihrer Promotion im Jahr 1925

als Spender anonym bleiben wollen und war aber, wie er selbst erwähnt, von Edmund Siemers (1840–1918) als solcher genannt worden, beide DMA VA 2165.

[46] Oskar von Miller (Deutsches Museum) an das Kuratorium der Hamburgischen Wissenschaftlichen Stiftung 12.7.1916, DMA VA 2165.

[47] Angesichts ihrer schlechten wirtschaftlichen Lage bemühte sich Sommerfeld um Industriespenden für die Familie, Sommerfeld an Telefunken, 22.10.1920, DMA NL 89, 025.

konnte sie mit einem Forschungsstipendium der Notgemeinschaft weiter in der Zoologischen Staatssammlung in München arbeiten, wechselte dann aber 1927 nach Berlin. Dort kam sie zunächst als Gastwissenschaftlerin bei der Abteilung für Vererbungslehre und Biologie der Tiere unter und publizierte tierpsychologische Aufsätze. Im April 1929 erhielt sie eine feste Stelle am Kaiser-Wilhelm-Institut (KWI) für Biologie und habilitierte sich noch im gleichen Jahr an der Berliner Universität mit der Abhandlung „Die Organisation des optischen Feldes bei der Biene“. Im Mai 1930 wurde ihr die Lehrbefugnis erteilt. Ohne hier weiter näher auf ihre Forschungen einzugehen, soll es in diesem Kontext bei dem Hinweis bleiben, dass ihre Beiträge in der Tierpsychologie und auch in der allgemeinen Gestaltpsychologie als innovativ bewertet wurden.[48]

Die Durchführung des Gesetzes zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums im Jahr 1933 zwang alle Lehrkräfte der Universität wie der KWIs zur Abgabe von Fragebögen, in denen die eigene Abstammung bis zu den Großeltern genau anzugeben war. Es ging darum, auf der Grundlage dieses Gesetzes die Gruppe der sogenannten Nichtarier aus dem gesamten öffentlichen Dienst zu entfernen. Dazu rechneten all jene, bei denen wenigstens ein Großelternteil zur jüdischen Religionsgemeinschaft gehörte. Mathilde Hertz fühlte sich eigentlich nicht betroffen, denn der Großvater väterlicherseits war bereits als Kind getauft worden. So schrieb sie am 19.7.1933 noch ergänzend zu ihrem Fragebogen:

> *„‚Alle 8 Urgroßelternteile waren evangelisch getauft, bei der vätermütterlichen und der mütterväterlichen Seite handelt es sich um Pastorenfamilien. Mein Urgroßvater Heinrich D. Hertz gehörte zum Vorstand seiner Hamburger Kirchengemeinde. Mein Großvater Dr. jur. Gustav F. Hertz, als Kind getauft, war als Senator (seit 1866) und Chef der Hamburger Justizbehörde zugleich Kirchenspielherr (Kirchenaufsichtsbehörde).“*[49]

Max Planck (1858–1947) teilte dem Reichsministerium des Innern in seiner Eigenschaft als Präsident der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft am 21.7.1933 daraufhin mit, dass die Assistentin und Privatdozentin Mathilde Hertz Arierin sei, da alle 8 Urgroßeltern evangelisch getauft gewesen seien. Aus Plancks Sicht schien die drohende Entlassung damit abgewendet und er vergaß nicht auf ihren Vater hinzuweisen, *„weil eine Entlassung der Tochter des berühmten Physikers im In- und Ausland einen sehr ungünstigen Eindruck hervorgerufen haben würde.“*[50] Aber aufgrund eines Gutachtens eines Sachverständigen für Rasseforschung stufte das Ministerium Mathilde Hertz schließlich doch als Nichtarierin ein und forderte Planck am 27.10.1933 auf, den Vertrag mit ihr zu kündigen. Im September hatte sie bereits aufgrund dieses Gesetzes ihre Venia Legendi an der Universität verloren. Daraufhin kündigte Planck ihr nun pflichtgemäß, versuchte aber dennoch gleichzeitig eine Ausnahmeregelung für sie zu erreichen. Zum einen würde das von ihr vertretene Forschungsgebiet sonst in Deutschland nicht gepflegt, zum anderen,

[48] Jaeger 1996, S. 232–240.

[49] M. Hertz an ihren unmittelbaren Vorgesetzten R. Goldschmidt, 19.7.1933, MPGA, KWI für Biologie. Abt. R. Goldschmidt, I. Abt. Rep. 1A, Nr. 534; nach Jaeger 1996, S. 243.

[50] Planck an den Reichsminister des Inneren, 21.7.1933, MPGA, ebd.; nach Jaeger 1996, S. 244, auch Schüring 2006, S. 56.

so argumentierte Planck, *„würde es auch im Inlande wie im Auslande dankbar anerkannt werden, wenn die Tochter von Heinrich Hertz, dem allein wir die Entdeckung der drahtlosen Welle verdanken, ihre wissenschaftliche Arbeit fortsetzen könnte.“*[51] Im Januar 1934 kam es daraufhin tatsächlich zu einer der ganz seltenen Ausnahmeregelungen durch das Ministerium des Innern, das die Belassung von Mathilde Hertz genehmigte.[52]

Dennoch verstand sie dies wohl nur noch als eine provisorische Situation. Im November 1935 klärte sie bei einem Aufenthalt in England ihre dortigen Arbeitsmöglichkeiten. Dabei erhielt sie Unterstützung von englischen Physikern wie Joseph John Thomson (1856–1940), die sich mit ihrem Vater freundschaftlich verbunden gefühlt hatten. Das Renommee von Heinrich Hertz wirkte auch in England immer noch fort und gab Veranlassung dazu, dass *„those scientists who appreciate the fundamental work done by the late Professor Hertz have written how shocked they are with the German authorities who make it impossible for a member of the Hertz family to continue her work in Germany.“*[53] Im Januar 1936 siedelte Mathilde Hertz nach Cambridge über und holte ein halbes Jahr später ihre ältere Schwester und ihre Mutter nach. Allerdings kam es längerfristig zu keiner erfolgreichen Fortsetzung ihrer Karriere. Spätestens seit 1940 war sie ernsthaft krank und zu weiterer wissenschaftlicher Arbeit offenbar nicht mehr imstande. Auch politisch scheint sie sich nicht adaptiert zu haben. Im Unterschied zu anderen Emigranten bemühte sie sich nie um die englische Staatsbürgerschaft und erweckte offenbar den Eindruck, sich trotz ihrer schlechten persönlichen Erfahrungen stärker mit Deutschland als mit ihrem Aufnahmeland zu identifizieren.[54] In ihren letzten Lebensjahren war sie an den Arbeiten zu der zweiten, nunmehr doppelsprachigen Auflage der „Erinnerungen, Briefe und Tagebücher“ ihres Vaters beteiligt.[55]

16.6 Biographische Skizze von Gustav Hertz

Gustav Hertz war als Sohn von Gustav Theodor Hertz (1858–1904), einem Bruder von Heinrich Hertz, ein Cousin von Mathilde und kam in demselben Jahr wie deren ältere Schwester Johanna 1887 in Hamburg zur Welt.[56] In seinen Lebensläufen wird Gustav Hertz stets auf die Zugehörigkeit zur evangelisch-lutherischen Konfession hinweisen.[57] Sein Vater war ebenso wie der Großvater Jurist, interessierte sich aber auch für die physikalischen Arbeiten seines Bruders. Nach Vorschule und Privat-Realschule besuchte

[51] Planck an den Reichsminister des Inneren, 21.11.1933, MPGA, ebd.; nach Jaeger 1996, S. 244–245.
[52] Jaeger 1996, S. 245. Rürup 2008, S. 66.
[53] Adams (Academic Assistance Council) an Whitehall, 22.1.1936, Archive SPSL Bodleian Library Oxford, 432/2, 329; nach Jaeger 1996, S. 251.
[54] Jaeger 1996, S. 251–253.
[55] M. Hertz und Susskind 1977.
[56] Es existiert eine Biographie: Kuczera 1985.
[57] Lebenslauf in den Promotionsunterlagen, 18.5.1911: *„Ich bin evangelisch-lutherischer Konfession.“* UA HUB Phil. Fak., 413, Bl. 76–77. Fragebogen zur Durchführung des Gesetzes zur Wiederherstellung des Berufsbeamtentums vom 7. April 1933, Hoover Institution Archives, Stanford University, Collection Franck, Box 6; für die Einsicht in diese von ihm selbst zusammengetragenen Materialien danke ich D. Hoffmann, Berlin.

Gustav Hertz mit dem Realgymnasium des Johanneums die traditionsreichste Höhere Lehranstalt in Hamburg, an der er wie schon zuvor der Großvater und der berühmte Onkel 1906 das Abitur ablegte.[58] Laut späterer Aussage von ihm entstand die Begeisterung für Mathematik und Physik durch den Unterricht an diesem Gymnasium.[59] Gustav Hertz promovierte 1911 mit einer spektroskopischen Arbeit in Berlin. Nach der Kriegsteilnahme an der Ostfront, von der er schwer verwundet zurückkehrte, wurde er 1917 Privatdozent an der Berliner Universität. Im Jahr 1920 ließ er sich von dieser Funktion beurlauben, um in dem neugegründeten Forschungslaboratorium der Philips Glühlampenfabriken in Holland zu arbeiten. Für das Jahr 1925 erhielt er gemeinsam mit James Franck (1882–1964) den Physiknobelpreis. Seine Berufung als Hochschullehrer zurück nach Deutschland, zunächst 1926 auf einen Lehrstuhl nach Halle, wurde von antisemitisch eingestellten Kollegen wie Zenneck in einen „jüdischen Kontext" gestellt, wenn dieser dabei „unerwünschte jüdische Kräfte" am Werk sah.[60] Solche Anspielungen scheinen aber ansonsten für die Karriere von Hertz keine Rolle gespielt zu haben. Im Dezember 1927 erhielt er den Ruf an die TH Berlin, wo er fortan als Ordinarius und Direktor des physikalischen Instituts wirkte.

Das schon bei seiner Cousine erwähnte und angewandte Berufsbeamtengesetz von 1933 betraf Hertz aufgrund seiner Abstammung zwar prinzipiell in gleicher Weise, aber die Ausnahmeregelung für Frontkämpfer bewahrte ihn zunächst vor der Entlassung. Im Jahr 1934 entzog man ihm als „Nichtarier" jedoch die Prüfungsberechtigung. Seine Assistenten und der Fachschaftsvertreter, die den daraufhin beabsichtigten Rücktritt von Hertz verhindern wollten, schrieben deshalb an Johannes Stark (1874–1957), den Präsidenten der Physikalisch Technischen Reichsanstalt, um ihn zu einer Intervention zugunsten von Hertz beim Ministerium zu bewegen. Am 4.11.1934 empfing Stark diese Gruppe zu einem persönlichen Gespräch. Der engagierte Nationalsozialist und Exponent einer „Deutschen Physik" bekundete dabei seine Sympathie für Hertz und dessen Arbeit: *„Ich habe das größte Interesse, daß Professor Hertz bleibt, denn er ist mir persönlich lieb .... Und in seinem persönlichen Wesen ist doch ganz und gar nichts Jüdisches und seine ganze Arbeit ist so rein deutsch."*[61] Auf eine am 1.11.1934 eingehende vertrauliche Anfrage der zu der NSDAP gehörigen „Deutschen Dozentenschaft" antwortete Stark in ähnlicher Weise: *„Hertz ... hat in seinem Äußeren, in seinem Auftreten und in seiner wissenschaftlichen Tätigkeit nichts Jüdisches. Er gehört zu den wenigen erstklassigen Physikern, die wir haben, ist auch Nobelpreisträger. Er ist zudem der Neffe des großen Physikers Heinrich Hertz, also der Träger dieses berühmten Namens. Es wäre eine Dummheit sondergleichen, diesem Mann deswegen die Prüfungserlaubnis zu entziehen, weil sein Grossvater Jude war."*[62] Obwohl Hertz diese möglicherweise doch hätte behalten können, wie ein

[58] Von Quarta bis Oberprima im Johanneum, laut Lebenslauf (Promotionsunterlagen).

[59] G. Lange u. J. Mörke 1979, S. 60. Den Hinweis verdanke ich D. Hoffmann, Berlin.

[60] Zenneck an Himstedt am 4.4.1927, DMA, NL Zenneck, Kasten 38.

[61] Gedächtnisprotokoll des dabei anwesenden Wilhelm Walcher (1910–2005), das unmittelbar anschließend niedergeschrieben wurde; das Dokument wurde mir von D. Hoffmann, Berlin, zur Verfügung gestellt. Siehe auch Walcher (1987), S. 624–625.

[62] Deutsche Dozentenschaft an Stark, 1.11.1934; Stark an Dozentenschaft, 8.11.1934 in Schröder 1993, S. 333 und Swinne 1992, S. 93.

Abbildung 16.6:
Der junge Gustav Hertz (1887–1975),
Neffe von Heinrich Hertz, Physiker (Nobelpreis 1925)
Foto: Deutsches Museum (BN 19347)

Briefentwurf des Ministeriums anzudeuten scheint, trat er am 30.6.1935 von seiner Professur zurück. Bei Siemens erhielt er unmittelbar anschließend ein eigenes Forschungslaboratorium, wo ihm ca. 20 wissenschaftliche Mitarbeiter zur Verfügung stehen sollten.[63] Die Fakultät legte großen Wert darauf, *„daß Herr Prof. Dr. Hertz mit der Hochschule in Verbindung bleibt und seine reichen wissenschaftlichen Erfahrungen den Studenten erhalten bleiben.“*[64] Er wurde offiziell mit einer von Hitler unterzeichneten Urkunde entlassen und dem Wunsch der Fakultät entsprechend gleichzeitig zum Honorarprofessor

[63] Vertragsunterlagen, Siemens Archiv. Für die Einsicht in diese von ihm selbst zusammengetragenen Materialien danke ich D. Hoffmann, Berlin.

[64] Antrag auf Ernennung zum Honorarprofessor: Technische Hochschule an den Reichs- und Preussischen Minister für Wissenschaft, Erziehung und Volksbildung, 21.5.1935, Hoover Institutions; das Dokument wurde mir von D. Hoffmann, Berlin, zur Verfügung gestellt.

ernannt.[65] So konnte Hertz auch weiterhin Studenten promovieren. In den folgenden Jahren fungierte er bei mindestens elf Studenten als Doktorvater. Neun von ihnen fertigten ihre Dissertation bei Siemens an.[66]

Etwa in der Mitte des Jahres 1938 erstellte man im Reichserziehungsministerium eine Liste der noch im Dienst befindlichen Hochschullehrer, die „Mischlinge“ oder „jüdisch versippt“ oder mit „Mischlingen“ verheiratet waren. Ganz offensichtlich suchte man nach Wegen, all diese zu entpflichten. Die weitere Tätigkeit von „Vierteljuden“ im öffentlichen Dienst wurde ausdrücklich als unerwünscht bezeichnet.[67] Im Fall von Gustav Hertz griffen die beamtenrechtlichen Regelungen jedoch nicht, da er zu diesem Zeitpunkt nur noch eine Honorarprofessur innehatte. Das Ministerium wandte sich deshalb am 26.8.1938 zunächst an den Rektor der TH und bat, Hertz wegen dessen jüdischer Abstammung zu einer freiwilligen Aufgabe seiner Stellung zu bewegen. Eine Antwort blieb jedoch zunächst aus, weshalb das Ministerium im Oktober erneut nachfragte. Hertz befand zu jener Zeit aber auf einer Reise in den USA. Daher beschied man das Ministerium, erst nach dessen Rückkehr im Januar antworten zu können. Im Februar meldete der Rektor dem Ministerium, Hertz würde sich alsbald selbst direkt an das Ministerium wenden. Nachdem dieses die ausstehende Antwort am 3.4.1939 anmahnte, schrieb Hertz schließlich am 30.4.1939 den angekündigten Brief.[68] Er war nicht gewillt, seine Position, die es ihm erlaubte, bei Siemens Doktoranden zu betreuen, aufzugeben:

> *„Der Herr Dekan der Fakultät für Allgemeine Wissenschaften hat mir die Frage vorgelegt, ob ich bereit sei, mit Rücksicht auf meine zu einem Viertel nicht arische Abstammung auf meine Honorarprofessur an der Technischen Hochschule Berlin zu verzichten. ... bin ich jedoch der Ueberzeugung, dass ich in allen wesentlichen Erbanlagen durch meine arischen Vorfahren bestimmt bin, was nach den Vererbungsgesetzen durchaus möglich ist. Auch die Art meiner Amtsführung als ordentlicher Professor in den Jahren 1925 bis 1935 dürfte dies beweisen. Nicht zuletzt ist durch meine im Jahr 1935 erfolgte Ernennung zum Honorarprofessor die Tatsache anerkannt worden, dass eine rein formale Behandlung der Abstammungsfrage der Beurteilung meiner Persönlichkeit nicht gerecht wird. ... Ich bitte daher, mir das durch meine Ernennung zum Honorarprofessor zum Ausdruck gebrachte Vertrauen auch weiterhin entgegen zu bringen und mir dadurch für die Zukunft die*

[65] Entlassungsschreiben vom 11.6.1935, Hoover Institutions; das Dokument wurde mir von D. Hoffmann, Berlin, zur Verfügung gestellt. Vgl. auch Cassidy 1979, S. 378.

[66] Liste der Doktoranden in: Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Reihe 36 (1987), S. 721–735. Diesen Hinweis verdanke ich Frau Schülzky vom Archiv der TU Berlin.

[67] Durchschlag mit Hinweis auf ein Verzeichnis der am 1. Januar 1938 noch im Dienst befindlichen Hochschullehrer, die Mischlinge oder jüdisch versippt oder mit Mischlingen verheiratet sind. Mit Vermerk vom 11.6.1938 über sechs unklare Fälle, darunter Hertz. Notiz für den Referenten vom 11.7.1938, BAB R 4901 13306, Akte Hertz.

[68] REM (Reichserziehungsministerium) an den Rektor der TH, 26.8.1938, 14.10.1938, 3.4.1939; Rektor an REM, 7.10.1938, 28.11.1938, 18.2.1939, 11.4.1939, ebd.

Möglichkeit zu geben, mit vollen Einsatz meiner Kräfte an der Lösung der dringenden Aufgaben der gegenwärtigen Zeit mit zu arbeiten. Heil Hitler!"[69]

Am 6.7.1939 wandte sich außerdem die Technische Hochschule an das Ministerium, um zu bekräftigen, dass man großen Wert darauf lege, Hertz zu halten. Schließlich unterstützte sogar Wilhelm Dames, der Referent für Naturwissenschaften im Ministerium, dieses Anliegen der Hochschule. Dabei betonte er die menschlichen und fachlichen Qualitäten sowie das freiwillige Ausscheiden von Hertz im Jahr 1935 *„in Anerkennung der n. s. [nationalsozialistischen] Bestrebungen"*. So erschien dem Referenten, Hertz „ein einzig dastehender Sonderfall" zu sein und er plädierte für dessen Belassung, nicht zuletzt, weil er ihm ein großes Verständnis für die nationalsozialistischen Belange attestierte.[70] Damit hatte es Hertz im Juli 1939 definitiv erreicht, als Sonderfall in seiner Nische verbleiben zu können.

16.7 Schlußbetrachtungen

Das Beispiel von Heinrich Hertz zeigt eine Dominanz in der Wahrnehmung der jüdischen Anteile einer Herkunft, denen damit eine überproportionale Bedeutung zugeschrieben wird. Unabhängig von seiner Biographie wurde und wird Heinrich Hertz häufig in einen jüdischen Kontext gestellt. Das beruht allein auf der Tatsache, dass sein im Alter von sieben Jahren zusammen mit der ganzen Familie getaufter Vater ursprünglich als Kind jüdischer Eltern auf die Welt gekommen war. Eine Taufe in einem solchen Alter erforderte vor der Ausbildung einer eigenständigen Persönlichkeit natürlich noch keinen reflektierten Ablösungsprozeß. Der Vater von Heinrich Hertz hatte deshalb nie eine Form von jüdischer Identität entwickelt.

Wenn man die Ehe der Eltern von Heinrich Hertz dennoch als „gemischt" bezeichnen wollte, müßte man dem seit Geburt nichtjüdischen Elternteil eine geringere Bedeutung für die Prägung zuweisen, um Heinrich Hertz stärker dem Judentum zurechnen zu können. In seinem Fall erscheint dies angesichts der für seine Entwicklung so wichtigen Mutter, die dem protestantischen Bildungsbürgertum entstammte und nach allgemeinem Urteil überdurchschnittliche intellektuelle Fähigkeiten besaß, unangemessen.

Während die Antwort auf die Frage nach der Bedeutung eines nur noch wenig bewußten „jüdischen Erbanteiles" eher spekulativ bleiben muß, mag es fruchtbarer sein, das Augenmerk auf den Charakter solcher ehelichen Verbindungen zwischen Christen und konvertierten Juden zu richten. Diejenige von Heinrichs Vater und seiner Mutter war nicht arrangiert worden und beruhte somit auf deren eigener Entscheidung. Ein Gleichklang in emotionaler, aber auch in sozialer und intellektueller Hinsicht darf vermutet werden. Sie gehörten zur bürgerlichen Oberschicht und waren demzufolge sowohl ökonomisch, aber vermutlich auch aufgrund ihrer Wertvorstellungen in der Lage, ihren Kindern eine optimale Ausbildung zu ermöglichen.

[69] G. Hertz an REM, 30.4.1939, ebd.
[70] Rektor der TH an REM, 6.7.1939; Dames an Kaspar, 19.7.1939, ebd.

Neben der Selbstwahrnehmung würde es allerdings auch eine Rolle spielen, wenn die Familie durch das Umfeld noch als „jüdisch“ erkannt werden würde, was sich nicht zwingend in Ausgrenzung, aber doch in einer Beschränkung der sozialen Kontakte ausdrücken würde. Bei der Familie Hertz stand dies jedoch offenbar außer Frage und die hohen Ämter von Gustav Ferdinand Hertz, der in die Führungskaste der Hansestadt aufstieg, gingen weit über eine bloße Integration hinaus. Ebenso kann man bei der Laufbahn von Heinrich Hertz keine der seit dem Ende des 19. Jahrhunderts typisch werdenden Hemmnisse „jüdischer Wissenschaftler“ nachweisen. So erhielt er noch recht jung einen attraktiven Lehrstuhl und im Unterschied zu den jüdischen Bürgern Preußens wurde er ohne Probleme Reserveoffizier.

Erst die Nationalsozialisten machten Heinrich Hertz postum zu einem sogenannten Halbjuden, der aus der öffentlichen Erinnerungskultur möglichst verbannt werden sollte. Selbst die Deutsche Physikalische Gesellschaft beschäftigte sich ernsthaft mit der Frage einer Umbenennung der Frequenzeinheit Hertz.

Die folgende Generation der Familie stand den jüdischen Wurzeln naturgemäß noch ferner. Das Berufsbeamtengesetz von 1933 machte die beiden hier behandelten Wissenschaftler dann aber doch zu „Nichtariern“. Sie wehrten sich gegen diese Klassifizierung, die für sie in völligem Widerspruch zu ihrem Selbstverständnis und ihrer Familiengeschichte stand. Gustav Hertz erhielt dazu dezidierte Bestätigungen weder persönlich, noch in seiner Forschung „jüdisch“ zu wirken und konnte aufgrund seiner Haltung zum NS-Staat, die als loyal bewertet wurde, seine Forschungen in einem Industrielaboratorium fortsetzen. Im Sinn der rassischen Terminologie, die ihn zum Nichtarier stempelte, reklamierte er dagegen, im wesentlichen durch sein „arisches“ Erbe geprägt worden zu sein. Seine Cousine Mathilde Hertz erhielt zwar zunächst einen Aufschub ihrer Entlassung am KWI, emigrierte angesichts der Unsicherheit ihrer Position dann aber doch nach England. Dort hatte sie Adaptionsprobleme, nicht zuletzt, weil sie ihre deutsche Identität nicht aufgeben und deshalb die englische Staatsbürgerschaft nicht annehmen wollte.

Die hier vorgestellten Mitglieder der Familie Hertz illustrieren, dass der häufig sehr weit gefaßte Begriff des „jüdischen Wissenschaftlers“ bei ihnen wenig Sinn macht, wenn es um die Selbstwahrnehmung und bis 1933 auch weitgehend um die Außenansicht geht. Sogar im Nationalsozialismus gab es bei Mathilde und Gustav Hertz Beurteilungen und Einstufungen, die sie dem Bereich der Grenzfälle und Ausnahmen zuordneten.[71] Es scheint vielmehr so, dass die Familie Hertz zu einem urbanen Bürgertum gehörte, dessen Wertekanon sich nicht zuletzt mit dem hohen Stellenwert der Bildung zu einem wesentlichen Teil auch im deutschen Judentum wiederfand.[72] Von daher ist es kein Zufall, wenn es im 19. Jahrhundert auf dieser Basis häufiger zu Ehen zwischen Christen und

[71] Charpa und Deichmann vertreten dagegen ein Konzept, bei dem diese Kriterien für die Definition des „jüdischen Wissenschaftlers“ nicht allein entscheidend sind. So sei beispielsweise Otto Warburg (1883–1970) als Sohn eines getauften Vaters, nach Selbsteinschätzung und der Außenwahrnehmung zwar nicht jüdisch, aber ein Außenseiter, der „a perfect example of a German and a Jewish scientist“ ist. Charpa und Deichmann 2007, Einleitung, Fußnote 63, S. 25–26.

[72] Vgl. dazu Mosse 1990 und den von ihm angeführten „Dialog zwischen gebildeten Deutschen und Juden“.

(ehemaligen) Juden kam, deren Nachkommen im Nationalsozialismus dann auf diesen Teil ihrer meist vergessenen jüdischen Wurzeln zurückverwiesen und dementsprechend diskriminiert wurden. Deshalb reicht der Kreis derer, die vom Berufsbeamtengesetz von 1933 betroffen waren, so deutlich über das deutsche Judentum hinaus.

16.8 Bibliographie

Abkürzungen in diesem Beitrag

DMA: Archiv des Deutschen Museums München
MPGA: Archiv der Max-Planck-Gesellschaft Berlin
SPSL: Society for the Protection of Science and Learning.

Bajohr, Frank: Von der Ausgrenzung zum Massenmord. Die Verfolgung der Hamburger Juden 1933–1945. In: Schmid, Joseph: *Hamburg im „Dritten Reich“.* Göttingen: Wallstein 2005, 471–518.

Bering, Dietz: *Der Name als Stigma. Antisemitismus im deutschen Alltag 1812–1933.* Stuttgart: Klett-Cotta 1987.

Beyerchen, Alan: *Wissenschaftler unter Hitler.* Frankfurt u. a.: Ullstein 1982.

Cassidy, David: Gustav Hertz, Hans Geiger und das Physikalische Institut der Technischen Hochschule Berlin in den Jahren 1933–1945, In: Rürup, Reinhard (Hrsg.): *Wissenschaft und Gesellschaft. Beiträge zur Geschichte der Technischen Universität Berlin 1879–1979.* Berlin: Springer 1979, S. 373–387.

Charpa, Ullrich und Deichmann, Ute (Hrsg.): *Jews and Sciences in German Contexts.* Tübingen: Mohr Siebeck (Schriftenreihe wissenschaftlicher Abhandlungen des Leo Baeck Institutes; 22) 2007.

Daschner, Peter: Vorwort in: Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): *Physik mit Her(t)z.* Hamburg: Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung 2007, S. 4.

Deutsches Geschlechterbuch, Band 216, Siebzehnter Hamburger Band. Limburg an der Lahn: C. A. Starke Verlag 2003, S. 1–81.

Fölsing, Albrecht: *Heinrich Hertz.* Hamburg: Hoffmann und Campe 1997.

Grüneisen, Eduard: Emil Warburg zum achtzigsten Geburtstag. In: *Die Naturwissenschaften* **14** (1926), S. 203–207.

Grunwald, Max: *Juden als Erfinder und Entdecker, Ost und West* 13 (1913), Nr. 9, Sp. 703–712 und 743–758; Nr. 10, Sp. 809–812; Nr. 11, Sp. 875–884.

Hadamovsky, Eugen: *Dein Rundfunk. Das Rundfunkbuch für alle Volksgenossen.* München: Eher 1934.

Heinsohn, Kirsten (Hrsg.): *Das jüdische Hamburg.* Göttingen: Wallstein 2006.

Heppner, Ernst: *Juden als Erfinder und Entdecker.* Berlin-Wilmersdorf: Welt-Verlag 1913.

Hertz, Mathilde und Susskind, Charles (Hrsg.): *Erinnerungen, Briefe, Tagebücher.* 2. Auflage. Weinheim: Physik-Verlag 1977.

Herzig, Arno: Die Juden in Hamburg 1780–1860. In: Herzig, Arno (Hrsg.): *Die Juden in Hamburg 1590 bis 1990.* Hamburg: Dölling und Galitz 1991, S. 61–75.

Hublow, W.: Heinrich Hertz in seinem Wirken und Schaffen unter besonderer Berücksichtigung seiner rassischen Gebundenheit. In: *Zeitschrift für die gesamte Naturwissenschaft* **4.1** (1938), S. 386–388.

Jaeger, Siegfried: Vom erklärbaren, doch ungeklärten Abbruch einer Karriere – Die Tierpsychologin und Sinnesphysiologin Mathilde Hertz (1891–1975). In: Gundlach, Horst: *Untersuchungen zur Geschichte der Psychologie und der Psychotechnik.* München: Profil 1996, S. 229–262.

Kampmann, Wanda: *Deutsche und Juden. Die Geschichte der Juden in Deutschland vom Mittelalter bis zum Beginn des Ersten Weltkrieges.* Frankfurt: Fischer 1981.

Kaznelson, Siegmund (Hrsg.): *Juden im deutschen Kulturbereich. Ein Sammelwerk.* Zweite Auflage. Berlin: Jüdischer Verlag 1959.

Kohut, Adolph: *Berühmte Israelitische Männer und Frauen in der Kulturgeschichte der Menschheit. Lebens- und Charakterbilder aus Vergangenheit und Gegenwart. Ein Handbuch für Haus und Familie.* Zwei Bände. Leipzig-Reudnitz: Payne 1900/1901.

Kressley, Regina A.: Hertz, Mathilde Carmen. In: *New Dictionary of Scientific Biography* **Band 21**. Detroit u. a.: Scribner 2008, S. 294–298.

Kubach, Fritz: *Philipp Lenard der deutsche Naturforscher. Sein Kampf um nordische Forschung.* München/Berlin: Lehmanns 1937.

Kuczera, Josef: *Gustav Hertz.* Leipzig: Teubner 1985.

Lange, Gert und Mörke, Joachim: *Wissenschaft im Interview.* Leipzig: Urania 1979.

Lenard, Philipp (1937–1941): *Große Naturforscher. Eine Geschichte der Naturforschung in Lebensbeschreibungen.* München: Lehmanns (Dritte Auflage) 1937; München: Lehmanns (Vierte Auflage) 1941.

Lenard, Philipp (1995): *Erinnerungen eines Naturwissenschaftlers, der Kaiserreich, Judenherrschaft und Hitler erlebt hat.* Heidelberg: Physikalisches Institut der Universität Heidelberg 1995.

Liebermann, Willy Ritter von Wahlendorf: *Erinnerungen eines deutschen Juden 1863–1936.* München: Piper 1988.

Martin, Bernd: Die Entlassung der jüdischen Lehrkräfte an der Freiburger Universität und die Bemühungen um ihre Wiedereingliederung nach 1945. In: *Schicksale: jüdische Gelehrte an der Universität Freiburg in der NS-Zeit.* Freiburger Universitätsblätter **34** (1995), S. 7–46.

Messerschmidt, Manfred: Juden im preußisch-deutschen Heer. In: Nägler, Frank (Hrsg.): *Deutsche jüdische Soldaten.* Hamburg u. a.: Mittler 1996, S. 39–62.

Mosse, George L.: Das deutsch-jüdische Bildungsbürgertum. In: Koselleck, Reinhart (Hrsg.): *Bildungsbürgertum im 19. Jahrhundert. Teil II Bildungsgüter und Bildungswissen.* Stuttgart: Klett-Cotta 1990, S. 168–180.

Noll, Peter: *Nachrichtentechnik an der TH/TU Berlin – Geschichte, Stand und Ausblick.* (Version 21.6.2001) auf
`http://www.nue.tu-berlin.de/history/th_nachr.pdf`.

Oppenheimer, John F. (Hrsg.): *Lexikon des Judentums.* Gütersloh u. a.: Bertelsmann 1971.

Preston, David Lawrence: *Science, Society and the German Jews: 1870–1933.* Dissertation University of Illinois. Ann Arbor: University Microfilms 1972.

Rürup, Reinhard: *Schicksale und Karrieren. Gedenkbuch für die von den Nationalsozialisten aus der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft vertriebenen Forscherinnen und Forscher.* Göttingen: Wallstein 2008.

Schönbeck, Charlotte (Hrsg.): *Philipp Lenard. Wissenschaftliche Abhandlungen.* Diepholz und Berlin: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaft und der Technik 2003.

Schröder, Reinald: Die schöne deutsche Physik von Gustav Hertz und der weiße Jude Heisenberg – Johannes Starks ideologischer Antisemitismus. In: Albrecht, Helmut (Hrsg.): *Naturwissenschaft und Technik in der Geschichte.* Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik 1993, S. 327–342.

Schüring, Michael: *Minervas verstoßene Kinder.* Göttingen: Wallstein 2006.

Süss, Cornelia: Der Prozeß der bürgerlichen Gleichstellung der Hamburger Juden 1815–1865. In: Freimark, Peter und Herzig, Arno (Hrsg.): *Die Hamburger Juden in der Emanzipationsphase (1780–1870).* Hamburg: Christians 1989, S. 279–298.

Susskind, Charles: *Heinrich Hertz. A short life.* San Francisco: San Francisco Press 1995.

Swinne, Edgar: *Richard Gans. Hochschullehrer in Deutschland und Argentinien.* Berlin: ERS-Verlag 1992.

Tiggemann, Daniela: Familiensolidarität, Leistung und Luxus. Familien der Hamburger jüdischen Oberschicht im 19. Jahrhundert. In: Herzig, Arno (Hrsg.): *Die Juden in Hamburg 1590 bis 1990.* Hamburg: Dölling und Galitz 1991, S. 419–430.

Toury, Jakob: *Soziale und politische Geschichte der Juden in Deutschland 1847–1871.* Düsseldorf: Droste 1977.

Volkov, Shulamit: Soziale Ursachen des jüdischen Erfolgs in der Wissenschaft. Juden im Kaiserreich. In: *Idem*: *Jüdisches Leben und Antisemitismus im 19. und 20. Jahrhundert.* München: Beck 1990, S. 146–165.

Volkov, Shulamit: Juden als wissenschaftliche „Mandarine“ im Kaiserreich und in der Weimarer Republik. In: *Archiv für Sozialgeschichte* **37** (1997), S. 1–18.

Walcher, Wilhelm: *Gustav Hertz an der Technischen Hochschule zu Berlin 1928–1935.* Wissenschaftliche Zeitschrift der Karl-Marx-Universität Leipzig, Mathematisch-Naturwissenschaftliche **Reihe 36** (1987), 6, S. 612–625.

Wininger, Salomon: *Große jüdische National-Biographie mit mehr als 8000 Lebensbeschreibungen namhafter jüdischer Männer und Frauen aller Zeiten und Länder.* Ein Nachschlagewerk für das jüdische Volk und dessen Freunde. 7 Bände. Czernowitz: Tip-Arta 1925–1936.

Wenkel, Simone: Jewish Scientists in German-Speaking Academia: An Overview. In: Charpa und Deichmann (Hrsg.), S. 265–295.

Wolff, Stefan L.: August Kundt (1839–1894): Die Karriere eines Experimentalphysikers. In: *Physis* **29.2** (1992), S. 403–446.

**Text der Gedenktafel für Heinrich Hertz,
Poststr. 20 in Hamburg**

An dieser Stelle stand das Haus,
in dem am 22. Februar 1857
Heinrich Hertz
Professor der Physik
geboren wurde, Sohn des Anwalts und
späteren Justizsenators Gustav Hertz.

Heinrich Hertz war einer der bedeutendsten Physiker.
Seine Entdeckung der Elektromagnetischen Wellen 1887/88
wurde zur Grundlage des Zeitalters
der elektronischen Massenmedien und
vollendete die Klassische Physik.

Als Pionier der Modernen Physik entdeckte er 1887 den
Photoeffekt, den ersten Quanteneffekt.
Seine „Prinzipien der Mechanik“ (1894) waren
Wegbereiter der Ideen der Relativitätstheorien.

Er starb in Bonn am 1. Januar 1894.

Patriotische Gesellschaft von 1765

150 Jahre Heinrich Hertz – Ansprache zur Enthüllung der Gedenktafel am Ort des Geburtshauses Poststr. 20

Peter Klein (Hamburg)

> *„Eine große Entdeckung auf dem Gebiete der Elektrizität hat ein deutscher Gelehrter gemacht; ... Prof. Dr. Heinrich Hertz in Karlsruhe hat durch eine Reihe von sehr sinnreich erdachten Versuchen nachgewiesen, daß sich die Wirkung einer elektrischen Schwingung als Welle in den Raum ausbreitet“* so schrieb eine Berliner Zeitung anfang des Jahres 1889, um nach überraschend kenntnisreichen Informationen über die wissenschaftliche Bedeutung fortzufahren: *„Über den technischen Wert der Entdeckung werden uns wohl die privilegierten Erfinder nicht allzulange in Zweifel lassen.“*

Dazu beizutragen war dem „Erfinder“ selbst freilich nicht vergönnt.[1] Schon am 2. Januar 1894 mußte die „Kölner Zeitung“ melden: *„In der Blüthe seiner Jahre, in der vollen Kraft seiner wissenschaftlichen Thätigkeit ist Heinrich Hertz von hinnen geschieden. Die Universität Bonn hat mit ihm einen ihrer gefeiertsten Lehrer, die Wissenschaft einen genialen Forscher, die Welt einen edlen Menschen verloren, aber sein Name glänzt auf immer neben denen der großen Physiker des 19. Jahrhunderts“* und wird, so Max Planck zur Trauerfeier der Preußischen Akademie der Wissenschaften, *„als der ersten einer gegenwärtig sein, solange überhaupt elektrische Schwingungen von Menschen wahrgenommen werden.“* Und so auch Albert Einstein (zur Funkausstellung) wie (Reichs-Rundfunk-Kommissar) Hans Bredow zur Karlsruher Denkmalfeier: *„Diese Wellen schufen die Grundlage für die drahtlose Nachrichtentechnik, deren ganze Tragweite sich auch heute noch nicht übersehen läßt und deren Möglichkeiten noch lange nicht erschöpft sind“* – auch heute noch lange nicht, wie jeder erfährt, der soeben von seinem „Handy“ gestört wird. So feiert ihn denn unisono die Welt: den Entdecker eines Funkens, der als technische Grundlage der gesamten Informationsgesellschaft zu immenser auch politischer, sozialer, kultureller Bedeutung gelangte!

[1] Diese Ansprache hielt Prof. Dr. Peter Klein am 8. Oktober 2007 anläßlich der Enthüllung der Gedenktafel am Ort des Geburtshauses von Heinrich Hertz in der Poststr. 20 in Hamburg. Die Organisation ist der „Patriotischen Gesellschaft von 1765“ Hamburg zu verdanken.

So auch seine Geburtsstadt Hamburg mit dem wohl weltweit höchsten aller Denkmäler. Wenn wir also heute darüberhinaus sein Geburtshaus, gar nur den Ort, an dem es einmal stand, öffentlich hervorheben, so sollte diese sonst etwas genierlich späte Reverenz zumindest durch eine Erweiterung des bisherigen Hertz-Bildes gerechtfertigt sein. Und in der Tat wollen wir hier in Heinrich Hertz nicht nur den *jedermann* bekannten *Entdecker* der „Ätherwellen“ und den jedem Physiker durch Vereinigung von Mechanik, Optik und Elektrodynamik vertrauten *Vollender der Klassischen Physik* ehren, sondern auch den *Wegbereiter der Modernen Physik*, dessen experimentelle Entdeckungen der Quantenphysik, dessen philosophisches Spätwerk den Ideen der Relativitätstheorie den Boden bereiteten, der mit diesen Arbeiten aber bisher in Wissenschaft und Öffentlichkeit noch nicht zureichend gewürdigt worden ist.

Ganz bewußt haben wir deshalb im Tafeltext bei „einem der größten Physiker“ die ursprünglich vorgesehene Einschränkung „des 19. Jahrhunderts“ weggelassen, weil, wie dem Programm zu entnehmen, das heute beginnende Symposium gerade diesen bisher vernachlässigten Seiten seines Werks vermehrte Beachtung schenken will. Und sollte dies zu einer wesentlichen Revision des bisherigen Hertz-Bildes führen, so würde Hertz in der Tat zu den (nun ohne Epochengrenzen) „Größten“ seines Faches gehören – doch das zu beurteilen müssen wir vorerst dem kritischen Diskurs der aus der ganzen Welt hier versammelten Wissenschaftler überlassen.

Demgegenüber geht es dem *Arbeitskreis „Stadtentwicklung“ der „Patriotischen Gesellschaft“* mit seiner Reihe von Gedenktafeln insbesondere auch darum, die Bevölkerung auf besondere Orte ihrer Stadt aufmerksam zu machen, um Kenntnisse und Vertrautheit mit deren Geschichte und Charakter zu bereichern und zu stärken.

Dazu ist ein *Geburtshaus* ja besonders geeignet, denn in ihm tritt der jeweilige **Genius** ja erstmals, zwar noch „in nuce“, doch historischem Bewußtsein schon ehrfurchtgebietend ans Licht. Auch kann man (soweit Genialität sich überhaupt in ihre Karten blicken läßt!) an ihm noch am ehesten ablesen, was auch mir als Erziehungswissenschaftler stets besonders wichtig ist: *wie kam es eigentlich* zu dieser genialen „Veranlagung“? Versteht man unter „Veranlagung“ das Produkt von genetischem Erbe, sozialem Milieu, Erziehung und früher Erfahrung, so wollen wir zwar über's Genetische erst gar nichts zu sagen versuchen, weil wir darüber schlicht (noch) nichts wissen. Die übrigen Faktoren aber sind in gewissem Maße doch aufschlussreich, und sie geben uns auch manchen Einblick ins soziale Gefüge unsrer Stadt zu der Zeit, als sie Weltstadt wurde.

Das gilt bereits für die Lage des Hauses: Es wurde nach dem „Großen Brand“ von 1842 erbaut, der ungefähr hier endete, als zum Abschluß der Schreckenstage der Wind noch mal drehte und so die „Gänge“ um St. Jacobi einäscherte, aber die um den Gänsemarkt verschonte. So lag es, wie sogleich auffällt, nicht eben ideal, ja, für einen reichen Advokaten (und späteren Senator) der verzweigten, teils jüdischen, teils protestantisch getauften Familie Hertz fast ein wenig enttäuschend: in einer allzu engen Straße, allzu nahe den „Gängevierteln“ der Neustadt (deren Reste ja heute alle „um die Ecke“ liegen), kehrte es den Prunkfassaden an Jungfernstieg und Binnenalster beinahe betont den Rücken zu.

Überdies schob sich, noch aus der Zeit vor Anlage der Neustadt, ein Landstreifen von der Altstadt zum Gänsemarkt, zwischen Alster und die „Großen Bleichen“; der gehörte

zum Kirchspiel St. Petri, und dessen Grenze nach St. Michael folgte genau der Mitte der Poststraße – ein sozialer Abgrund! denn wie hieß es doch von den Kirchspielen?:

> „St. Petri de Rieken, / St. Nikolai desglicken,
> St. Catharinen de Sturen, / St. Jacobi de Buren,
> St. Michaelis de Armen; / Daröber mag sich Gott erbarmen!"

Daher mögen sich für den jungen Hertz, anders als die Biographen meinen, Kontakte zu den armen Unterschichten doch recht früh ergeben haben, denn Kindergarten und erste Schule lagen ebenfalls „um die Ecke", an Heuberg und später Hohen Bleichen. Beide besuchte er nach offenbar sehr bewußtem Plan, nachdem er, v. a. von der Mutter liebevoll und mit großen Erwartungen betreut, Neigung und Fähigkeit zu konzentriertestem Lernen anhand bebildertem und bedrucktem Papier schon frühzeitig zu erkennen gegeben hatte.

Der Kindergarten: geleitet in Fröbelscher Authentizität von dessen Großnichte Alwine Middendorf, der ersten Kindergärtnerin in Hamburg, zu Hertz' Zeit bereits verheiratet mit Dr. Wichard Lange, dem Leiter der benachbarten Schule. Der hatte zwar seinerseits gerade Fröbels Werke herausgegeben, kam aber von Diesterwegs Pädagogik her und war daher realistischer Ideale voll, in zwar durchaus humanistischem, aber doch bürgerlich gezügeltem Geiste. Seinem Schul-„Prospectus" von 1861 zufolge suchte er seine Clientèle bewußt nicht bei der ganz reichen alteingesessenen Hamburg-Aristokratie, sondern in der heraufkommenden mittleren bürgerlichen Oberschicht, zu der wohl auch Gustav Hertz sich zählte; pädagogisch richtete er sich „hauptsächlich (an) Knaben ... welche sich nach ihrer Konfirmation dem Kaufmannsstande oder den höheren Gewerben widmen wollen; ausnahmsweise aber auch Schüler, die eine Gelehrtenbildung erwerben wollen" – Für *die* waren keineswegs Fröbel'sche Kindergarten-Spiele gedacht, vielmehr herrschte „große Strenge und Fülle der Arbeit", „versüßt (!!) durch regen Wetteifer", bei dem „keine Tugend und kein Fehler ohne Lohn oder Strafe blieb" – so im Rückblick der 17jährige, dem dieses Programm und der entsprechende Fächerkanon offenbar voll entsprach.

Denn er besuchte diese Schule bis zur „Konfirmation", auch nachdem die Familie 1863 nach Rotherbaum umgezogen war, das seit 1860 nach Aufhebung der Torsperre mit großen Stadtvillen bebaut wurde, darunter auch das noch stehende, leider unzugängliche Haus Magdalenenstraße 3. Hier führte der junge Hertz nun „in großem Stil" ein radikal der Bildung gewidmetes Leben, das auch die Eltern in unermüdlicher Liebe, streng, tolerant und liberal förderten: eine Einheit von Freiheit und Selbstdisziplin, sportlicher Erkundung des noch weitgehend unbebauten Umlands mit Geschwistern und Altersgenossen, umfassenden Studien auf allen Gebiete geistiger Kultur, „Handwerkern" wie Drechseln, Schreinern, Modellieren, physikalischen und chemischen Experimenten mit selbstgebauten Geräten (auf welchem Niveau Hertz hier „bastelte", geht daraus hervor, dass er bei seinen ersten Forschungen in Berlin ein selbstgebautes Galvanometer den im größten und besten deutschen Labor vorgefundenen vorzog, ja es noch für seine berühmten Versuche in Karlsruhe verwendete!). Sonntags kam dazu technisches Zeichnen an der Gewerbeschule (der Gründung der Patriotischen Gesellschaft!), was den überraschenden Berufswunsch des Bauingenieurs begründet haben mag, von den Eltern nun aber doch gelegentlich gebremst wurde durch die Mahnung, stattdessen die Kirche zu besuchen

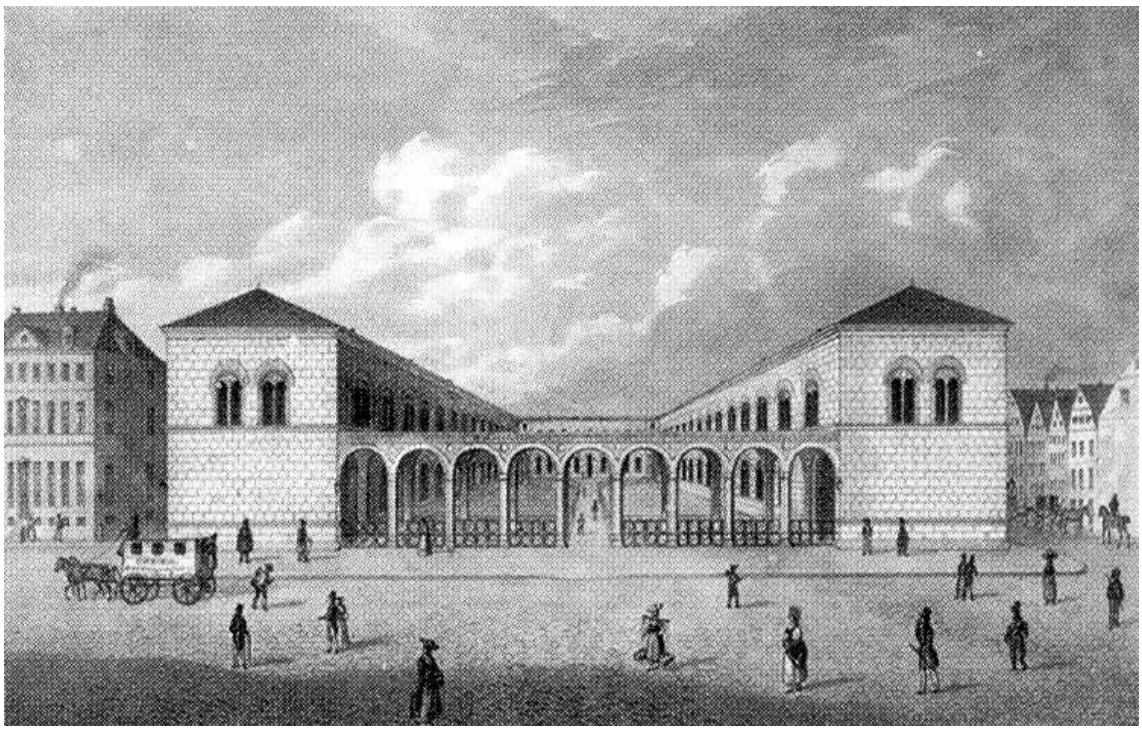


Abbildung 17.1:
Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg

(doch finden die Eltern selbst sich später nicht in den „Subskribenten“-Listen der neu zu gründenden St. Johannis-Gemeinde in Harvestehude).

Zwei Jahre intensivster häuslicher Studien, von Privatunterricht ergänzt, und ein Jahr an der Gelehrtenschule des Johanneums beendeten diese Zeit der häuslichen Bildung – mit einer Katastrophe, da dessen neuer Direktor glaubte, auch in der Erziehung müsse nun der Geist (oder Ungeist) des neuen (Kaiser-)Reiches einziehen, daher unter den Abiturienten eine rabiate Metzelei inszenierte, die allerdings dem fachlich unangreifbaren Hertz nur das Abiturzeugnis verdarb. Insgesamt aber war es ein universales Bildungsprogramm, das die beinahe unbegreifliche intellektuelle Reife des jungen Hertz ebenso erklären mag wie seine handwerklich-technische Brillanz als Experimentator – Jedenfalls ist er für ein technisches Studium entschieden „überqualifiziert“!

So wurde ihm beim Studium des „Baufachs“ die Neigung zu wirklich wissenschaftlicher Arbeit denn auch zunehmend bewußt, und in einem langen Brief, in dem sich Vertrauen und hoher Anspruch, Selbstbewußtsein und Selbstzweifel geradezu rührend mischen, trägt er den Wunsch nach Fachwechsel dem Vater vor. Der stimmt natürlich zu – und bleibt auch sonst lebenslang der verläßliche Mentor und Sponsor, der etwa zur Hochzeit des Sohnes dessen allzu frugales Professorengehalt aufstockt (es würde dies, wie jener dankbar schreibt, „den Unterschied zwischen „auskömmlich“ und „behaglich“ ausmachen“), der aber auch, obwohl Laie, die ausführlichen Laborberichten gleichenden

Briefe des Sohnes so einfühlsam kommentiert, daß dieser bewundernd schreibt, unter seinen Studenten sei „kaum einer, der mehr von Physik versteht als Papa und Gustav“ (der jüngere Bruder, Vater des Nobelpreisträgers Gustav Hertz).

Abbildung 17.2:
Die Eltern von Heinrich Hertz:
Links: die Mutter Anna Elisabeth Hertz, geb. Pfefferkorn (1835–1910)
Rechts: der Vater Dr. Gustav Ferdinand Hertz (1827–1914), Senator in Hamburg

Zenneck 1930, S. 26 und 58.

Da ist der Sohn längst berühmt, der, als er als Zweitsemester nach Berlin kam, sogleich Aufmerksamkeit und Protektion des größten deutschen Wissenschaftlers seiner Zeit, Hermann von Helmholtz, gewann, der in ihm auch seinen wissenschaftlichen Erben sah, aber dessen frühen Tod noch kurz vor seinem eigenen beklagen mußte. Was dazwischen lag, ist Gegenstand der Weltgeschichte und bleibe dieser überlassen!

Hier wollte ich eigentlich schließen; doch ein Zufallsfund der letzten zwei Wochen ist Anlaß, mit wenig Worten auf Heinrich Hertz' jüdische Herkunft zu sprechen zu kommen, die für die in dritter Generation getaufte, sozial voll integrierte Familie bis 1933 kaum eine Rolle gespielt hatte. Auch hier soll das Lokale getrennt bleiben von der „großen“ Geschichte (z. B. der, wie ausgerechnet Hertz' Assistent Philipp Lenard, der nicht zuletzt durch ein ihm großzügig überlassenes Arbeitsgebiet zum Nobelpreis gelangte, zum Wortführer der antisemitischen sog. „Deutschen Physik“ wurde).

Da war nun die Stadt Hamburg sich lange vor dem Bau des Turmes ihrer ideellen Pflichten Heinrich Hertz gegenüber bewußt geworden und plante seit 1930, auf Anre-

gung des schon genannten Hans Bredow, dem Leiter des Norddeutschen Rundfunks, die Errichtung eines Hertz-Denkmals an prominenter Stelle der Außenalster. Es wurde Friedrich Wield in Auftrag gegeben, Mitgründer und erster Präsident der „Hamburger Sezession", „heute der reifste und stärkste Ausdruck moderner Kunst in Hamburg" (so Hans W. Fischer im „Hamburger Kulturbilderbogen" 1923).[2] Wield entwarf, ohne Zweifel als sein Hauptwerk, eine symbolische „Ätherwelle", „eine Jünglingsgestalt" als Symbol des „Forschergeistes, der sich frei ins All erhebt, während die tote Materie (eine im Erdboden verkrampfte Frauengestalt) am Boden gefesselt bleibt" (Fritz Schumacher in der Grabrede auf Wield).

Abbildung 17.3:
Skulptur Ätherwelle im Eichenpark am Alsterufer,
Künstler: Friedrich Wield (1880–1940), 1931/33

Foto: Gudrun Wolfschmidt

1933 war das Gipsmodell zum Guß vollendet, doch nun erhoben sich prompt Bedenken. So schrieb ein MdB Wilhelm Otto Rose an Staatsrat Georg Ahrens: „Ohne hier auf nationalpolitische Fragen einzugehen – Heinrich Hertz, etwa als Vierzigjähriger (!) 1894

[2] Fischer, Hans W.: Hamburger Kulturbilderbogen: eine Kulturgeschichte 1909–1922. Hrsg. von Kai-Uwe Scholz. Hamburg: Dölling und Galitz 1998.

gestorben – war gewiß als Physiker eine Weltkapazität, ist aber als Sohn des einstigen Senators Gustav Hertz, der zwar getauft, aber m. W. Vollblutjude war und als Frau eine geborene Pfefferkorn ... hatte, hinsichtlich der Rasse als Jude anzusprechen – und ohne weiter die Frage zu untersuchen, ob gerade in diesem Jahr ein Hertz-Denkmal errichtet werden muß, ...“ usw. im unsäglichen NS-Jargon, der sich verliert in Mutmaßungen über „die eng umschlungenen zwei Körper,“ die „zum mindesten zu Mißdeutungen führen müssen“.

Kurz, der Guß unterblieb, das Modell verschwand im Keller der Kunsthalle und überstand dort den Krieg, der Künstler beging 1940 Selbstmord – nicht, wie manchmal gesagt, weil er selber Jude war! Hierzu Wield selbst an Hans W. Fischer: „Äußerst witzig finde ich, daß man aus mir einen Juden machen möchte. Meine Herren „Kollegen“ verbreiten dies Gerücht“, habe ein älterer Maler ihm berichtet, den er immer für einen „anständigen Charakter“ gehalten habe, aber auf sein, Wields, Erstaunen hin meinte, „wenn es mir gelänge mich zu rechtfertigen, sei ja alles gut“ – *gerechtfertigt sein dadurch, daß man kein Jude ist!* – Ehrenvoll, daß ihn „dies Jahrhundert langsam anfängt anzuekeln“ und er schließlich das Leben von sich warf, als einer der wenigen Deutschen, die dies nicht deshalb taten, weil sie Verfolgte waren, sondern aus Verzweiflung über die moralische Vergiftung ihrer Nation!

Das Modell aber wurde vor einigen Jahren tatsächlich gegossen und 1994 aufgestellt, beinahe unter Ausschluß der Öffentlichkeit und vielleicht nicht einmal im Bewußtsein von Hertz' 100. Todestag war. Unbekannt allen meinen Bekannten, ist es mir erst vor zwei Wochen durch eine zufällig gelesene Fußnote und das gute Gedächtnis eines Kollegen bekannt geworden. Wie ursprünglich vorgesehen steht es nun am Alsterufer, am Nordende des Eichenparks, unweit Hagedorns Alsteridylle.

Mögen beide Orte, dieser im Trubel der City, jener bei stiller Meditation, die Erinnerung an den großen Wissenschaftler und Menschen wachhalten, dessen Leben uns mahne, uns nicht selbst zu verlieren an die übermächtigen Folgen seiner großen Entdeckung!

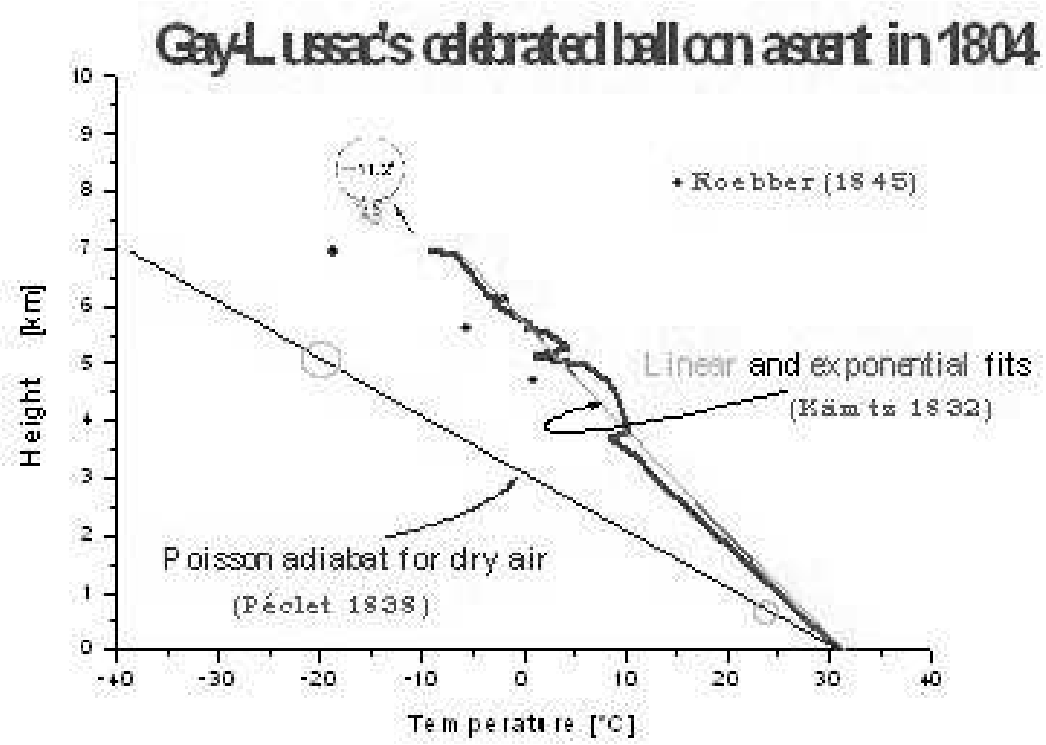


Figure 18.1:
Gay-Lussac's observed temperatures over Paris (irregular curve), to which are fitted a linear (and an almost indistinguishable logarithmic) profile. The (blue) line with the strongest lapse rate is based on Poisson's theory of adiabatic cooling of dry air. Shown are also three of Roebber's calculated temperatures of a cloudy parcel.

Drawing: Joachim Pelkowski

Hertz on Meteorology

Joachim Pelkowski (Ober-Mörlen)

Abstract: Zur Meteorologie von Heinrich Hertz

Heinrich Hertz lebte und wirkte in einer Zeit, als die Meteorologie international eine gewaltige Entwicklung und Institutionalisierung erfuhr. In Deutschland wurde die theoretische Meteorologie durch Vollblutmeteorologen, aber auch durch nicht wenige Physiker gefördert. Hertz hat ein frühes Interesse an der Meteorologie an den Tag gelegt. Seine Geburtsstadt Hamburg hat dem geistig allseitig offenen Jungen entscheidende Anregungen geboten. Die Bedeutung Hamburgs für die Entwicklung der Meteorologie in Deutschland schlug sich früh in der Gründung der Seewarte nieder, gerade in dem Jahr, da Hertz am humanistischen Johanneum seine Reifeprüfung ablegte. Wir wissen aus Fölsings ausnehmend lesenswerter Lebensbeschreibung, dass Heinrich Hertz sich schon als Gymnasiast für Meteorologie erwärmt hat. Wiederholt hat er sich mit meteorologischen Stoffen beschäftigt.

Im kollektiven Gedächtnis der Meteorologen ist er aber insbesondere durch sein so genanntes Adiabatendiagramm geblieben, wenngleich nur noch selten die Verfasser der einschlägigen meteorologischen Lehrbücher sich bequemen, an seine Pioniertat zu erinnern. Hier wird das ursprüngliche Diagramm wiedergegeben und erläutert, zusammen mit einer erst jüngst veröffentlichten Ausführung eines Würfeldiagramms aus seiner in Karlsruhe im Jahre 1885 gehaltenen, höchst anregenden Antrittsvorlesung. Beide Diagramme bezeugen Hertz' Gabe, komplexe Zusammenhänge anschaulich zu machen. Nicht eingehen werde ich dagegen auf die folgenlose Erfindung eines Hygrometers oder auf die trotz größter experimenteller Anstrengungen nicht befriedigend ausgefallenen Versuche zur Verdunstung von Wasser und Quecksilber, die Hertz auch im Hinblick auf ihre Bedeutung für die messende Meteorologie angestellt hat. Auf zwei kleinere meteorologische Arbeiten aus dem Jahre 1887 werde ich in der Einleitung aufmerksam machen.

Der historische Hintergrund des Hertzschen Diagramms wird zum besseren Verständnis seiner in der Folgezeit für die Aerologie und Meteorologie so einflussreichen Arbeit beleuchtet. Wie schon der ewige Schnee der Hochgebirge zeigt, nimmt die Lufttemperatur mit zunehmender Höhe ab. Dies hat man im 18. Jahrhundert messend zuerst in den Alpen festgestellt, dann in den Anden und anderen Gebirgen. Ballonfahrer haben während des 19. Jahrhunderts die Beobachtung in der freien Atmosphäre bestätigt gefunden. Eine im September 1804 von Gay-Lussac unternommene wissenschaftliche Ballonfahrt hat eine für die Entwicklung der atmosphärischen Thermodynamik bedeutsame Temperaturkurve in Abhängigkeit der Höhe geliefert. Um dieselbe Zeit erklärte man sich die beobachtete Temperaturabnahme vermöge der Annahme, die

Ausdehnung der Luft würde die Wärme durch bloße Raumvergrößerung binden. Diese Erklärung blieb lange Zeit hindurch erhalten. Péclet, Schüler von Gay-Lussac, hat nach einer von Poisson 1823 im Rahmen der Laplaceschen Wärmestofftheorie herausgearbeiteten Gleichung die so genannte adiabatische Temperaturveränderung eines aufsteigenden trockenen „Luftvolumens“ berechnet. Adiabatisch heißt dabei, dass ein Austausch von Wärme mit der Umgebung nicht statthat, eine Annahme, die in der Theorie der Schallausbreitung zu einer ausschlaggebenden Berichtigung von Newtons Schallgeschwindigkeit führte. Péclet wies insbesondere auf die Diskrepanz zwischen dem „Gay-Lussac-Profil“ und dem „Poisson-Profil“ hin. Roebber hat 1845 durch Berücksichtigung der bei Wolkenbildung im aufsteigenden Luftpaket freiwerdenden Verdunstungswärme eine Verlangsamung der Abkühlung berechnet und so ein Stabilitätsargument Péclets abgeschwächt.

Es fehlte allerdings der sichere Wegweiser bei der Wahl der mathematischen Formel für das Temperaturprofil, bis die mechanische Wärmetheorie auf die Bühne trat. Noch heute bewundern wir Robert Mayers Leistung, der 1842 den entscheidenden Gedanken zur zahlenmäßigen Äquivalenz von Wärme und Arbeit aussprach, während die Menschheit dem Bierbrauer Joule ewig danken wird, diese Äquivalenz auf festen wissenschaftlichen Boden gestellt zu haben. Es dauerte denn auch nicht mehr lange, bis auf dieser neuen Grundlage Lord Kelvin 1862 seine bekannte Erklärung der adiabatischen Temperaturänderung innerhalb feuchter, im Aufsteigen begriffener Luft gab, und dabei den bis heute wichtigen Idealzustand einer Atmosphäre im konvektiven Gleichgewicht definierte. In den 60er Jahren haben der deutsche Mathematiker Reye und der französische Ingenieur Peslin ähnliche Erklärungen der so genannten feuchtadiabatischen Zustandsänderungen mathematisch ausgearbeitet. Reyes Erklärung setzte sich durch, nachdem er sie seinem berühmten Wirbelbuch aus dem Jahre 1872 als Anhang beigab. Dieses Buch hat Hertzens Lehrer Helmholtz beeindruckt, und es mag auch Hertz eine Anregung zu seiner Adiabatentafel geboten haben. Durch das 1884 vorgeschlagene, sorgfältig gezeichnete Hertzsche Diagramm wurde Wilhelm von Bezold, der Begründer der atmosphärischen Thermodynamik, zu einer Art „Diagrammtheorie“ vertikaler Luftströmungen angeregt.

Ein halbes Jahr nach der Adiabatenarbeit hielt Hertz in Karlsruhe eine bemerkenswerte Antrittsvorlesung. Er war an die Polytechnische Hochschule berufen worden, wo er auch Meteorologie für Forstleute zu lesen hatte. Hertz hat den Vortrag nicht für veröffentlichungswürdig gehalten. Die Vortragshandschrift wechselte manchen Besitzer und wurde 1997 in englischer Übersetzung herausgegeben, während der deutsche Wortlaut ein Jahr darauf erstmals veröffentlicht wurde. Der Vortrag behandelt quantitativ die auf der Erdoberfläche umgesetzten und besonders die am jährlichen Gesamthaushalt des Klimasystems beteiligten Energiemengen. Wäre sein zur Versinnbildlichung der Mengenverhältnisse dienendes Würfeldiagramm bekannt geworden, so hätte die Geschichte solcher Sinnbilder in der Klimatheorie mit Hertz anheben können. Hertz vergleicht in seinem Vortrag sehr anschaulich die „Haupteinnahmequelle“, die so genannte Solarkonstante, d. i. der Betrag der an der äußersten Grenze unserer Atmosphäre auf die Flächeneinheit bei senkrechtem Einfall abgesetzten Energie je Zeiteinheit, mit den Nebenquellen Erdwärme und Erddrehung und Kohlevorkommen. Ein wichtiger Abschnitt der meteorologischen Forschung war im 19. Jahrhundert die Bestimmung der uns von der Sonne zukommenden Energie. Die Schätzungen der Solarkonstanten schwankten bis ins letzte Jahrhundert beträchtlich. Hertz musste sich zu seiner Zeit mit einer um etwa 45% zu großen Solarkonstante zufrieden geben. Hertz unterschätzte allerdings, ganz im Einklang mit den damaligen Anschauungen, die Durchlässigkeit der Luft für Sonnenstrahlung. Die atmosphärische Durchlässigkeit wurde, wie die Solarkonstante auch, von Pouillet 1838 eingeführt.

Auf die Weiterentwicklung des unbekannt gebliebenen Hertzschen Grundschemas wird nur hingewiesen. Das Verdienst, das erste quantitative Schema des Energiehaushaltes der Erde eingeführt zu haben, gebührt dem englischen Meteorologen Dines. Sein Diagramm wurde allerdings erst 1917 veröffentlicht. Das derzeit gültige und im Wesentlichen ähnliche Schema aus dem Jahre 1997 wird zum Vergleich mit dem Würfeldiagramm gezeigt. Von diesem bemerken wir, dass Hertz namentlich die so genannte Erdalbedo realistisch als zu etwa einem Drittel der der Erde jährlich insgesamt zugestrahlten Sonnenenergie abschätzt. Er verteilt dann die verbleibenden zwei Drittel auf die von der Atmosphäre einbehaltene und die der Erdoberfläche entsprechend zugeführte Sonnenenergie. Wegen der unterschätzten Lichtdurchlässigkeit lässt Hertz der Erdoberfläche vergleichsweise wenig Sonnenergie zukommen. Die von der Luft aufgenommene Sonnenenergie erwärmt die Atmosphäre. Bedenkt man überdies, dass durch Kondensation des Wasserdampfes in ihrem Herzen die Luft zusätzlich erwärmt wird, wobei Hertz in Übereinstimmung mit dem heutigen Wert eine jährliche Niederschlagsmenge von 1 m zugrunde legt, so würde die Luft verhältnismäßig zu warm sein, was nicht vereinbar mit den auch damals bekannten mittleren Lufttemperaturen ist.
Der nunmehr zugängliche Karlsruher Vortrag stellt eine schöne Schilderung des Energiekreislaufs der Erde dar. Ab 1969 konnte der prächtige Anblick der Erde durch die „erstaunten Mondbewohner“ bestätigt werden, der sich dem abgewiesenen Anteil der Sonnenenergie verdankt, und der von Hertz so unvergesslich als die „astronomischen Repräsentationskosten“ im Energiehaushalt des Klimasystems bezeichnet wurde.

18.1 Introduction

Heinrich Hertz necessarily elicits the admiration of those scientists who nowadays find themselves confined to one of the myriad smallholdings of science. He was equally at home in dealing with problems of experimental or theoretical physics or even philosophy, not to mention problems that arise in some fields of natural science like meteorology. To his parents he once wrote: *“To be sure, I should gladly become an engineer, but just as gladly become a bookbinder, a turner, or anything respectable, but there is still a difference between gladly and gladly”* (J. Hertz, 1977). As is well known, he eventually yielded to his urge to devote himself to activities far more challenging to his exacting mind than shaping articles with a lathe, or measuring the atmospheric pressure, to both crafts of which he applied himself as a pupil. While meteorology was certainly no more or less “respectable” a profession than those he explicitly mentioned in his letter, he had an early interest in it, for reasons that may have to do with the role played by his hometown in the development of institutional meteorology in Germany. Later, as a student of physics, he was exposed to the meteorological work of some contemporary physicists who tried their hands at some of the problems posed by the application of hydrodynamics and thermodynamics to meteorology. Rudolf Clausius (1822–1888), with whose mechanical theory of heat Hertz and Max Planck (1858–1947) acquainted themselves as students, and Hermann von Helmholtz (1821–1894), who influenced Hertz so decisively, as well as Anton Oberbeck (1846–1900), who was to lead the appointment list for the Karlsruhe

chair that Hertz finally came to occupy between 1885 and 1889, all were physicists who dealt with theoretical problems of meteorology. Helmholtz and Oberbeck did important theoretical work in hydrodynamical meteorology. Wilhelm von Bezold (1837–1907), who in Munich advised Hertz not to turn to physics before having enjoyed a good mathematical grounding, even offers an example of a physicist who in 1885 became Germany's first professor of meteorology and director of the meteorological institute in Berlin. It was not unusual for a physicist to contribute to what was regarded to be but a branch of applied physics. All these physicists contributed to meteorology, and so did Hertz with a single piece of 1884, which left an indelible mark in the history of meteorology.

With one well-known contribution to meteorology, is it worthwhile or warranted to look upon Hertz as a meteorologist? Was his great paper of 1884, titled "A Graphical Method for Determining Changes in the State of Moist Air", a haphazard "recreational activity", as Bohren and Albrecht (1998) would have it, or was it but an "obligation" towards the director of the physical institute in Kiel, were the paper was written, as historian of meteorology Kutzbach asserted in her admirable account (Kutzbach, 1979)? Was Hertz, as we are also told by her, merely "an outsider to the field of meteorology", who had "otherwise no recognizable meteorological interests"? McDonald (1963), after telling his readers that in the paper of 1884 Hertz gave us "the prototype of all thermodynamic diagrams", wonders why our protagonist "might have been busying himself with such matters", and after an unsuccessful search "for clues as to what might have aroused Hertz's interest in the seemingly remote subject" of the thermodynamics of air, finds "the only other publication even indirectly related to meteorology" to be a short paper on a hygrometer.

Musings of that kind we forthwith may brush aside, the more so now that better accounts on his life are available, like Fölsing's delightful biography of Hertz (Fölsing, 1997). Therein we learn that Hertz was always interested in, and even lectured on, meteorology. Hertz's early interest in the latter science may be related to the foundation, in 1875, of a central institution of hydrography and maritime meteorology (the Deutsche Seewarte, or German naval observatory) in his hometown Hamburg: "Already as a gymnasium pupil had Hertz interested himself in meteorology, and with engineer Ritz, who had built a barometer of his own, he made barometric measurements" (Fölsing, 1997). He had also regular contact with Georg Neumayer (1826–1909), first director of that observatory: *"Would it be alright if I came home? If it is possible, I would like to come soon, because there are once again various experiments that I would like to try, and perhaps Prof. Neumayer will also have something for me"*, we read in a letter to his parents of 22 July 1878, written in Frankfurt (cf. J. Hertz, 1977). He also had contact with von Bezold, as already hinted at, who became the founder of atmospheric thermodynamics a decade after having been Hertz's professor in the 1878 laboratory course at the Munich Polytechnic, and who also had actively furthered the foundation of the German meteorological society, in Hamburg in 1883, of which Neumayer became the first president. Among its members in 1884 we find the names of Hertz, Helmholtz and Oberbeck.

Universities in Germany offered courses in and created positions and even institutes for meteorology, geophysics, and astrophysics, and some physicists did work on prob-

lems originating in these fields. *"Helmholtz, for instance, published fundamental studies in meteorology, examining the earth's atmosphere from the standpoint of hydrodynamics. Meteorology was characterized as the 'physics of the atmosphere' and Bezold ... sought to make it an exact science through the application of thermodynamics"* (Jungnickel & McCormmach, 1986). It was precisely as Helmholtz's assistant in Berlin that Hertz published work related, more or less directly, to meteorology. He devised a hygrometer to measure humidity variations by weight changes, and his investigation of evaporation rates, containing one form of the integrated Clausius-Clapeyron equation that can be found in the modern meteorological literature, was meant as a contribution to meteorology and climatology (Fölsing, 1997). Before leaving Berlin for Kiel, he finished a paper on the tide-generating action of a celestial body on the Earth's seas, which was meant as an application of viscous hydrodynamics to the case of the Earth.

During the two years Hertz spent as an assistant professor (Privatdocent) of theoretical physics at the University of Kiel, he kept looking for fields in which he could publish successfully. We learn from his diary entries that he alternately worked hard on electrodynamic and hydrodynamic problems, but the latter seem to have led him nowhere. Hydrodynamics challenged the best Victorian and continental physicists of the time, and Hertz might have looked for some important effect, if I may carry over Buchwald's (1994) analysis of Hertz's early ambitions to his efforts in that field. The mechanical theory of heat, on the other hand, on which he had given the inaugural address in 1883 and offered a course, inspired him to devise the famous thermodynamic diagram that we shall discuss later on.

The position in Kiel did not satisfy Hertz and when he was offered an ordinary professorship for physics, together with a good laboratory, at the Karlsruhe Polytechnic in 1885, he did not hesitate to accept, after Oberbeck, who like Hertz had been recommended for the position by Helmholtz, had turned the offer down. Once he began his work there, he delivered a remarkable inaugural lecture on the energy budget of the Earth, which was an application of the mechanical theory of heat to a basic problem of climatology. As all readers know, it was in Karlsruhe that the ordinary professor carried out his extraordinary work; but his restless mind remained open to meteorological subjects. Besides experimental physics and electrotechnology, Hertz had to lecture on meteorology, especially to those intending to become foresters (Fölsing, 1997). Inspired by the topics dealt with in such lectures, from time to time he gave, for a local mathematics circle, evening talks on the formation of fog droplets, or the height of the atmosphere. While in Karlsruhe, he published two short contributions in the leading journal of meteorology, which we will presently summarize, and during his holidays in Hamburg he tried to follow the progress in meteorology.

Likewise, he had to meet official duties in the central weather bureau of the Grand Duchy of Baden. But his function as scientific counsellor to that bureau seems to have been more a sinecure than anything else, for we find no traces regarding it in his notes (Fölsing, 1997). However, he eventually grew tired of teaching meteorology, and on one occasion we find him humorously complaining about the duty in a letter to his parents of 13 October 1887:

> *„I am constantly thinking of proposing a barter to the venerable state of Baden, that instead of delivering the courses I would rather have toothache or take an emetic or something like that. Alas, I have no hope that the ministry shall accept the swap. And I believe it must just be put up with for the dear bread and nothing can be done about it."* (translated from the quotation in Fölsing, 1997).

There is the irony of destiny in it, for we now know how dreadful and painful his toothaches were to become shortly before he had to part so young from this best of worlds, and we can no longer read his joke without a feeling of sheer horror. And if he would rather take an emetic than teach meteorology, that was certainly not due to the subject itself or the weather as a field of inquiry, but to the unwillingness of the students.

The little contributions we hinted at before were published in the *Meteorologische Zeitschrift* for the year 1887. The first one, on the flow of snow on roofs, is a delightful observation, made before Christmas of the preceding year in Karlsruhe, of the deformations of a snow mass on two roofs, which he illustrated with five cute figures, representing the state of the snow layer after a few days. His attention had been drawn, after rather heavy snowfall, to the snow layers on tilted roofs that were pushed at different rates, according to the time of sedimentation, over the edge without braking, in the beginning forming the usual icicles, directed vertically downwards, and then slanting to become almost perpendicular to the slanted roofs, with the longest icicles, after further growth, keeping their lower half straight towards the ground, giving them the unexpected appearance of tusks of almost one meter length. He likened the behavior of the snow to that of "viscous fluids" or "soft metals", which deformed under their own pressure (Hertz, 1987). This is a nicety he did not count among his miscellaneous scientific memoirs collected in 1895.

In his second little contribution he summarizes meteorological hand drawings and plates of a former Karlsruhe professor of physics and earlier predecessor of his, J. L. Böckmann. Hertz had unearthed the material, containing recordings made between 1779 and 1782, in the loft of the "physical cabinet", and he presented them as interesting not only historically and biographically but in themselves, on 13 April 1887 at the meeting of the *German meteorological society* that took place in his own lecture hall in Karlsruhe. Hertz may have been prompted to publish the short note by the fact that the "drawings" and concomitant meteorographic system went not only unnoticed in their time but were even absent from Hellmann's grand bibliography of German meteorology, published in 1883. He tried to interpret the symbols engraved in a copper plate under the heading "Meteorographia universalis auctore Boeckmann" and he gives some details regarding the fate of the "box" containing those documents. A short written contribution was published in the same meteorological journal as before, and a still shorter version appeared in a local newspaper. His retrospective on the beginnings of systematic weather science was his last written contribution to meteorology (Fölsing, 1997).

In the following sections I shall discuss both his lasting contribution and the remarkable inaugural lecture he delivered in 1885, shortly after moving to Karlsruhe. But first,

it might be in order to insert some background material relating his main contribution to meteorology.

18.2 Historical background to Hertz's 1884 meteorological paper

Enlightened mountaineers had, before the end of the eighteenth century, ascertained the fall of air temperature in climbing the Alps. Data from balloon ascents were to provide the empirical basis for most theories of the vertical lapse rate of temperature, and as late as 1900 von Bezold tried out his theoretical conclusions on the results of balloon observations. Throughout the nineteenth century, regular "updates" of the temperature distribution with height had become available through the efforts of balloonists mainly in France and England.

The first ascent that played a seminal role in the creation of atmospheric thermodynamics was Gay-Lussac's in 1804, who measured values of temperature over Paris (see the irregular curve in Fig. 18.1). The problem of explaining the observed lapse rates in this profile came to the fore after some important French work on the theory of sound had been launched, in which the hypothesis of *adiabatic* sound propagation replaced Newton's assumption of an *isothermal* propagation.

An important experimental discovery towards the end of the eighteenth century was that if air is compressed it becomes intrinsically heated; if expanded at constant mass, that is, if rarefied, it is cooled. The compression or expansion is said to be adiabatic – an adjective introduced decades later by the Scotch mathematical engineer William John Macquorn Rankine (1820–1872) – if no heating or cooling from outside takes place while its volume is changing. Erasmus Darwin, Charles's uncle, had invoked this phenomenon to explain why the snow fields and glaciers of the equatorial Andes could exist under the torrid heat of the coastal plains. He argued in 1788 that cold air blowing downhill would be heated by compression, and hot air blowing uphill would be cooled by expansion. According to the well-known British historian of thermodynamics, Donald S. L. Cardwell, John Dalton *"took the study further and argued that the heating or cooling effect during rapid adiabatic compression or expansion was far greater than could be shown on the sluggish thermometers of the day."* Adiabatic heating and cooling of gases aroused theoretical interest in France in 1802 when Biot, prompted by Laplace, undertook to examine the influence that the variations of temperature which accompany the dilatations and condensations of air might have on the speed of sound. Laplace is said to be, according to the late historian Clifford A. Truesdell (1980), the first author to present a clear and formal concept of adiabatic process. Though the concept of adiabatic heating and cooling was far from clear at this time, eventually the amount of cooling was determined by Siméon D. Poisson in 1823, who worked out from Laplace's caloric theory the formulae for the relations between the temperature and pressure, or temperature and density, of a gas compressed or expanded adiabatically, which bear his name to this day.

These refer to unsaturated air only. It was soon realized that saturated air must behave differently.

After a short controversy with British authors about the validity of Poisson's law(s), we find Péclet, who studied under Gay-Lussac, comparing (at the latest in 1838 and not first in 1843, as is generally assumed) the latter's temperature values with what Poisson's formula would give on the assumption that heated surface air, as it grows lighter, would ascend adiabatically without phase changes taking place, thus cooling by about 1°C for 100 meters of elevation. He found that this air would arrive at about 7 km (the height reached by Gay-Lussac in 1804) with a temperature as chilly as -35°C, while Gay-Lussac found it to be as warm as -9°C (cf the figure above). He concluded that surface air at 30°C could not rise as high as Gay-Lussac himself in 1804, but neither could it to lower heights, because it would always stay cooler and thus heavier than the ambient atmosphere. This argument endangered what was known as the convection theory of "ascending air".

James Espy (1785–1860) in the United States, inspired by Dalton's findings mentioned above, propounded at about the same time a convection theory in which the latent heat of water vapor counteracted a good deal of the adiabatic cooling of the air. His ideas on the importance of heating by latent heat evolved during the condensation of water vapor where to become highly influential in 19^{th} century meteorology. James Joule (1818–1889) certainly knew of them and in 1862 he suggested to William Thomson (1824–1907), who died knighted as Lord Kelvin in the same year as von Bezold, that such condensational heating could account for the lower values of the lapse rate of temperature, confirmed afresh by further observations of British balloonist John Welsh, of Kew Observatory. But contrary to what many a historically interested meteorologist has asserted, parroted by fellow meteorologists and historians alike, Kelvin's was not the first quantitative determination of the moist adiabatic process. In a short paper of 1845, while Joule was busy establishing empirically the conservation of energy, we find Ed. Roebber disputing Péclet's conclusion that "if a *courant ascendant* would ever take place it could not ascend very high", on the grounds that Poisson's formula is only valid for dry air, while taking account of water vapor and its condensation would give a *"more favorable result for the ascending current"*. Drawing from the formula for saturated water vapor pressure of Magnus, published shortly before, he estimated quantitatively the modified lapse rate, finding that at 7 km the temperature would fall only to -19°C, which, though still not as warm as Gay-Lussac's uppermost measurement, went a long way toward explaining the observed lapse rates in the atmosphere. In any event, according to Roebber the "courant ascendant" was rescued from the deadly blow of Péclet. Nevertheless, Lord Kelvin, who had the benefit of being in close collaboration with Joule, deserves credit for his reinterpretation of the dry and moist adiabatic lapse rates in the light of the newly established first law of thermodynamics. Moreover, his felicitous concept of "convective equilibrium" was to remain undisputed until a new kind of equilibrium seemed called for, the "radiative equilibrium" that Schwarzschild put forward in 1906 so as to account for the darkening of the sun's disk toward the limb. Both concepts proved indispensable for understanding observed lapse-rates. They live on in what is nowadays awkwardly known as "radiative-convective" models of the vertical temperature distribution. Kelvin's

paper was published a year after Reye had, in 1864, expressed similar viewpoints on the ascending currents. Reye and somewhat later Peslin, in a paper of 1868 on the same subject, even established criteria for determining the stability of the atmosphere with respect to vertical displacements of air parcels, criteria already latent in the work of Péclet, as well as in that of the forgotten pioneer Pierre H. Maille (1802–1882). The criteria allowed them to predict the conditions under which convection would set in.

Julius von Hann (1839–1921), Austrian's towering nineteenth-century meteorologist, in an influential paper published in 1874, started his analysis of adiabatic cooling by remarking that *"only in the last decade have we really begun to appreciate fully and establish physically the great importance of the ascending movement of air for a whole series of atmospheric phenomena"*. The subsequent developments were characterized concisely by Waldo in his survey of 1893:

> *"This paper was followed by much more elaborate studies and a series of valuable publications by others, so that it is now easy to apply our knowledge of thermodynamics to the atmosphere. A most helpful memoir along this line was that by Hertz, in which he gave a very simple diagram (known as the Hertzian "paper of adiabatics") for determining what the condition of moist air must be on attaining a given height in the atmosphere. Assuming that it retains its original amount of heat during the whole time, his diagram shows very clearly the results of the ascent of ordinary clear air up to a level at which cloud-formation begins; then to the level at which the precipitation is in the shape of frozen water-drops, or hail, and above that to the region in which precipitation must be in the shape of icy spiculae, or snow. These four stages of cooling, viz., the dry stage, cloudy stage, ice stage, and snow stage, characterize nearly all the important phenomena of the weather."*

To this fitting summary, stressing the four stages that have lost but little of their heuristic value to the present day, I shall add some details concerning the diagram proper in the next section.

Eventually, beginning in 1888, Wilhelm von Bezold, by systematically linking the work of all these forerunners, established atmospheric thermodynamics as a new branch of meteorology (Bezold, 1906).

With this contextual background, we may now turn to Hertz's major contribution in meteorology.

18.3 Hertz's thermodynamic diagram

Hertz's paper on a graphical method for determining the state of moist air was published toward the end of 1884 in the *Meteorologische Zeitschrift*, the organ of the then-new German meteorological society. It was soon praised as an important tool in judging the formation of precipitation, and it became so influential that no single textbook on atmospheric thermodynamics can be found in which the method is not discussed in one way or another. A detailed review of the reception of Hertz's paper is beyond the scope of

this article. The graphical method of Hertz came to be used universally in the modified forms of Neuhoff (in 1900), Stüve (1922), Fjeldstad (1925) as well as of many others (Weickmann, 1938). At about the same time, Sir Napier Shaw (1854–1945) described different methods of representation on the basis of the relation between temperature (t) and entropy (φ), creating the still widely used diagram known to meteorologists as the *tephigram*. Such diagrams continue to be regarded as indispensable tools, in spite of the fact that their advantages are no longer exactly to assist the "theoretical meteorologist", as Hertz had written in his opening statement. Generally speaking, in meteorology only very rarely do older graphic methods survive:

> *"Before computations were made on computers, atmospheric scientists regularly employed graphical techniques for evaluating atmospheric processes of all kinds, including radiation processes, dynamical processes, and thermodynamic processes. Over the last few decades, the use of graphical techniques has almost completely disappeared with the exception of thermodynamic diagrams and conserved variable thermodynamic diagrams."* (Adams, 2003).

It is indeed astonishing that Hertz's diagram has not been superseded: *"In 1884 Heinrich Hertz ... developed a thermodynamic diagram that eliminated the need for tedious calculations of thermodynamic variables. The overall features of this diagram do not differ substantially from those used today."* (Bohren & Albrecht, 1998).

Graphic diagrams in nineteenth-century thermodynamics were not new when Hertz wrote his paper, but it was he who first realized the usefulness of such a representation for the working meteorologist of his day: *"The theoretical meteorologist daily has to reflect on the changes of state of moist air that is compressed or expanded without any heat supply. Thus he wishes to reach, with the least possible expenditure of time, answers to the pertinent questions, unwilling to find himself referred to any complicated thermodynamic formulae."* (Hertz, 1884). One might be inclined to think that it took Hertz quite an amount of time to develop what was meant to save the working meteorologist so much time, but the contrary is true. The flabbergasting speed with which he finished the whole work may be gleaned from the following diary entries, which I here quote unabridged (cf. Fölsing, 1997 and for translation of the edited entries, Johanna Hertz, 1977):

> 7 October / Searched through the meteorological journal at the observatory. Took up adiabatic expansion again. 9 October / Worked on adiabatic expansion from 6 in the morning until 9 in the evening, almost without interruption. 13 October / Began to write up the meteorological work. 17 October / Worked mainly on writing up adiabatic expansion. 20 October / Sent meteorology paper to Köppen. Thought anxiously about electromagnetics. 24 October / Answered letters from Oberbeck and Haug. Turned back to electromagnetics. 25 October / Thought about electromagnetics. 26 October / First a visit to Krümmel, then to Ladenburg. Received from Dr. Hagen his book on electrical illumination. 27 October / Course on optics. Received letter from Dr. Köppen about changes of symbols and replied to him. 28 October / Elections of Reichstag. Coffee at Graf Spee's. 29 October

> / Very bad mood after letter from Dr. Hagen. Spent the whole day struggling with myself. 30 October / Attacked hydrodynamic problems again. ... 11 November / Did nothing and was completely discouraged over the lack of success with the hydrodynamic problem. (Köppen, whose name appears in the entry for October 27, was professor of meteorology at the *Seewarte*, and one of the editors of the *Meteorologische Zeitschrift*.)

In nineteenth-century meteorology, as we saw in the preceding section, the ascending motion of air, with its attending release of latent heat, was that process that Espy had first grasped as an important meteorological principle. How much rain might attend such an ascending motion? This simple question played a complex role in nineteenth-century meteorology, and as an instance of the impact of Hertz's paper on a contemporary scientist, I shall quote from a review by the eminent American meteorologist Cleveland Abbe (1838–1916), extracting full paragraphs from a report published in 1890, in which he explains to American meteorologists in his own words the use of the diagram, which is reproduced here as Figure 2.

> *The exact amount of rain-fall corresponding to a given percentage of moisture condensed out of the atmosphere is given most conveniently by the diagram devised by Dr. Hertz. On the diagram, several systems of intersecting lines graphically represent the adiabatic change of pressure, namely:*
> *(1) The horizontal lines represent the temperature of the air.*
> *(2) The vertical lines represent the pressure.*
> *(3) A system of diagonal lines ascending toward the right, which is called the "α" system, and represents the progressive change in temperature and pressure of a mass of air as it rises in the atmosphere, the act of rising being indicated by a motion toward the left, namely, down the "α" lines.*
>
> *(4) Another system of inclined lines, which is designated as the "γ" system, and represents the progressive change in temperature and pressure after the ascending air has formed a cloud, but is still carrying all of its moisture up with it. The γ lines are suddenly broken when they reach the line of zero degrees or freezing point, because at that point the formation of ice causes an evolution of heat without any sudden change in the altitude of the ascending mass.*
>
> *(5) Another system of lines is given on the diagram, namely, the "β" system. These are dotted lines and are marked on the left-hand side with figures to show the weight of moisture accompanying a kilogram or unit mass of air.*
>
> *To illustrate the use of the diagram let the unit mass of air start at a temperature of 27° C at a point whose pressure is 750 mm; we find this point at the upper right-hand corner of our diagram, and if we wish to know how high it is above sea-level we drop from that point vertically downward into the subsidiary table at the bottom of the page, where we find the altitude to be about 100 meters above the sea.*

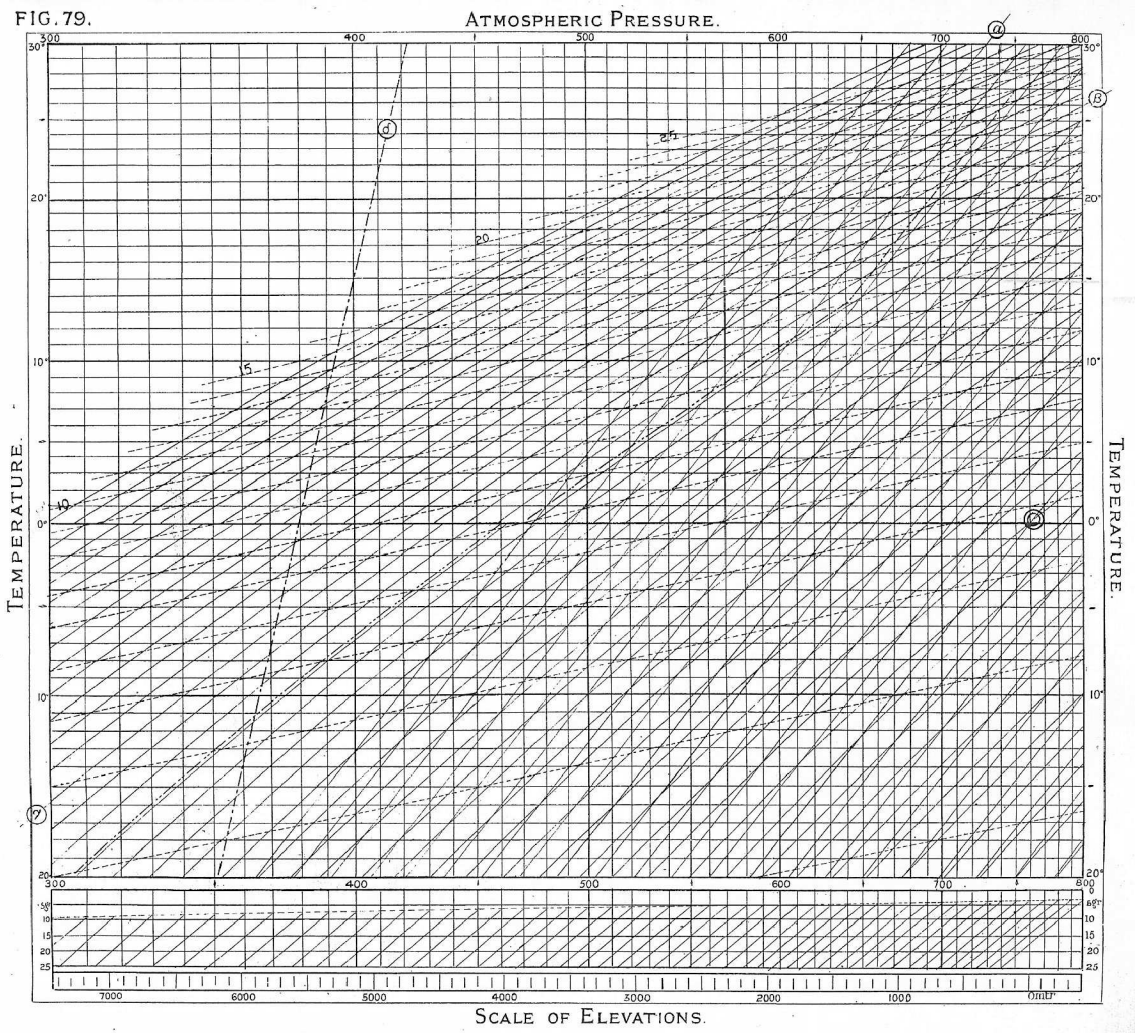


Figure 18.2:
Hertz's epochal diagram, as reproduced by Waldo (1893).

(Waldo, 1893).

If now this air be carried upwards to lower pressures, expanding and cooling as it rises, we find its state at any moment by following along the dash and dot line, as given on the table, through the initial point and parallel to the nearest α line. When the mass has attained the altitude of 640 mm of pressure the indicator point on the dash and dot line cuts the temperature line for 13° C – this shows that the temperature has been reduced by 13 degrees. Let us suppose this to have been the original dew-point of the air, then, at this elevation, a haze will begin to form; we, therefore, find the further temperatures and pressures that will attend its further ascent by causing the dot and dash lines to make a turn at this point and become parallel to the nearest line of the gamma system. The indicator follows this line down until the temperature has cooled to 0°, which occurs when the pressure is about 482 mm; then sufficient latent heat is evolved by the freezing of the fog particles contained in the air to keep the mass at a constant temperature of 0° until it has risen to a level, where the pressure is about 461 mm. After this as the mass rises the temperature diminishes and the dash and dot lines follows the new gamma curve representing the further ascent of the air. All this is on the assumption that no moisture is lost from the original mass of moist air, and this is approximately true within a large cloud until a very considerable elevation has been attained.

The quantity of moisture existing in the air at any point in its ascent may he divided into two portions, the vaporous and the liquid; the sum of these two is constant so long as none falls down, and is, therefore, equal to the original quantity with which the air started in its ascent. This total amount is expressed graphically by means of the figures on the beta lines: thus, at the point where the dash and dot line makes its first bend, and where condensation begins to occur; the corresponding beta line would indicate about 12 grams of moisture to the cubic meter. As we follow this dash and dot line further down into regions where, because of its coldness, the air can not retain all this moisture as vapor, we can ascertain how much vaporous moisture exists in the air at any point by drawing through it a short beta line and reading off its distance between the two nearest standard beta lines given on the chart: thus, at a pressure of 605 millimeters, and a temperature of 11° C, our cubic meter contains 10 grams of vapor; at a temperature of 0° and pressure of 473 millimeters, it contains about 6 grams; at a temper grams. The differences between the numbers thus obtained from the scale readings on the chart and the original vapor contents of the air gives the quantity that must be contained in the original mass in the shape of cloud, rain, or snow, and this, in the present illustration, as shown by the above numbers, is 1, 5, and 9 grams respectively; that is to say, at the altitude corresponding to 605 millimeters of pressure, there are 10 grams of vapor and 1 gram of cloud particles; at 473 millimeters and 0° C, the air contains 6 grams of vapor and 5 grams of rain, but at 462 millimeters and 0° C, it contains 6 grams of vapor and 5 grams

of snow or ice; finally, at 306 millimeters, it contains 2 grams of vapor and 9 grams of snow or ice.

It would follow from the above, if there were no precipitation toward the ground, that the top of a cumulus cloud should contain a much greater quantity of rain or snow particles per unit volume than the lower portions, but the contrary is probably the case; that is to say, one-half or more of the 9 grams in our illustration settle down to the lower part of the cloud, but so large a portion as this does not reach the earth's surface, at least not directly under the location at which it starts to form. I estimate the total proportion that reaches the ground from a cloud during the whole of its ascending course as not over 5 per cent for cumulus clouds or ordinary thunderstorms or tornadoes, and not over 10 per cent for extended cyclonic storms, where the ascending gradient is very gentle. Let us assume for illustration that as much as 10 per cent of the liquid of solid moisture falls from the clouds as fast as it is condensed after the air rises above 640 millimeters of pressure, and consider the effect of this on the dash and dot line indicating the temperature of the ascending cloud. By the loss of this vapor the cooling process ceases to be strictly adiabatic. A small quantity of heat is continually being abstracted as the specific heat of the falling moisture; the specific heat of the small quantity of liquid thus lost is a very small quantity compared with the specific beat of the remaining 90 per cent liquid and the latent heat of that which remains as vapor and the specific heat of the large quantity of gas that always remains. The effect of this loss of heat is to diminish the potential temperature, as that term is used by Bezold, and, therefore, the buoyant power of the remainder for any given pressure or altitude. We can estimate the effect numerically by the following process.

Let the original dot and dash line for the dry stage of the rising air be imagined continued downward in our diagram parallel to the original alpha line, until it intersects any given pressure line such as that for 462 millimeters which it intersects at about a temperature of -15°; this is then the temperature that the original mass of air would have attained if it had cooled without the evolution of latent heat; the actual evolution has, however, had the effect of giving the air a temperature of 0° at this pressure as shown by the previous figures, in other words the evolution of latent heat has raised the temperature of the mass 13 degrees above what it otherwise would have been; and this was due to the conversion into snow of only 5 grams out of the original 11 it contained; now, if 10 per cent of these 5 grams had already been lost as rain or snow, the effect of this loss upon the 13° of increase of temperature would approximately be given by the expression 13° times specific heat of one-tenth of 5 grams divided by latent heat of 5 grams of water + latent beat of liquefaction of 5 grams of snow + the specific heat of 1 kilogram of saturated air. This, therefore, gives us an almost inappreciable quantity showing that even for the heaviest storms we shall, so far as this source of discrepancy is

concerned, obtain the temperature at any altitude in a cloud with sufficient accuracy by the use of Hertz's diagram, based on adiabatic considerations.

The total heat thus contributed to the atmosphere, after such precipitation of rain as occurs in a storm, is but a small per cent of that which remains latent within the remaining vapor molecules. In a general way we may say that the precipitation throughout the whole world must year by year balance the evaporation, consequently the sum total of the heat left in the atmosphere by falling rain and snow must equal that consumed in its evaporation. If on the average 10 per cent of its moisture falls to the ground in each storm and 10 per cent of its latent heat is left in the air, then ten such storms would be needed to bring about the thermal balance between that mass of air wherever it may have gone to in its travels over the earth and the original quantities of heat consumed in the evaporation of its moisture. Now, practically, the evaporation is greater in the tropical regions than the rainfall, and in general we may divide the world up into regions where evaporation is greater and where it is less, respectively, than the rainfall; the latter regions are polar and continental and owe a great deal of their warmth to the fact that the precipitated rain of tropical and oceanic areas falls upon them.

Within a given storm the descending currents warming by compression evaporate any liquid particles they may have, and the heat thus consumed balances that which the same current, when rising in some previous part of its history, lost by cooling or gained by evolution of latent heat; there would, therefore, be no motor power to maintain the existence of such currents as against the steady resistances of the earth's surface, but this motor is now partially supplied in the small percentage of latent heat that is left in the cloud by the moisture that falls from it. This latent heat is, in the present illustration, one-tenth of the latent beat evolved by the 5 grams that were condensed into snow; its effect upon the temperature of the mass is one-tenth of the 13 degrees, and in general its contribution toward the permanent maintenance of the storm is one-tenth of all the thermal forces at work in the storm. It is evident that the maintaining power of the storm is greater when snow or ice is formed and actually falls as such to the ground than when rain only is formed; thus, in our present case if the air attains to a height whose pressure is 306 millimeters, thereby precipitating 9 out of its 11 grams as snow, and then loses 10 per cent of that by its fall to the earth, the latent heat left behind corresponds to twice that that was calculated for the elevation 462 and is ten times that for 605 millimeters.

This description by one of the leading meteorologists of the day clearly documents the practical importance that was attached to the diagram. In Abbe's account, the diagram itself was omitted, which makes it impossible to follow the description, but in 1893 another American meteorologist made up for the neglect: *"While reference has been made to it by various writers on meteorology, it is believed that the very important*

diagram accompanying that paper has not heretofore been reproduced elsewhere" (Waldo, 1893).

Von Bezold, who in his seminal investigations on the atmospheric thermodynamics beginning in 1888 called attention to Hertz's work, availed himself of the advantages afforded by graphical analysis, extending them to include "pseudoadiabatic processes", which allow for the loss of mass through precipitation, whereas Hertz's air parcel carries in theory all the cloud particles with it. In his first communication to the Prussian Academy of Sciences he tells us that the fundamental importance of the mechanical theory of heat for the development of meteorology induced him to introduce a method into the latter, *"that has proved remarkably fruitful in the application of the mechanical theory of the heat to the theory of machines: I mean the graphic method that Clapeyron has invented in order to make the ideas first expressed by Sadi Carnot visible and comprehensible. Already, some years ago, a step in a similar direction was taken by Hertz in a highly meritorious work on a graphic method for the determination of the adiabatic changes in moist air"* (Bezold, 1888, here quoted directly from the translation by Abbe, 1893).

Hertz, fully aware of the potential usefulness of his graphic method, surely entertained the hope that in addition to his new method a theoretical point was worth pointing out, because he writes that his paper "contains nothing theoretically new except in so far as that it also completely considers the peculiar behavior of moist air at 0°C, which, so far as I know, has hitherto not been treated of". Alas, that expectation was disappointed even before the article was printed. In a note to the paper (included in Hertz's *Miscellaneous Works*, 1895), we learn that the editor of the *Meteorologische Zeitschrift* had drawn Hertz's attention to work published between 1876 and 1880 by Guldberg and Mohn, together with a summary in 1878 in the *Journal of the Austrian meteorological society*, in which those authors had already suggested the four stages (called "periods" by them), including the one that Hertz believed to be original with him. Hertz acknowledged the priority of those authors and asked the editor Köppen whether he could eliminate that part, only to find out it was too late to do so, as the article was already under press. Köppen, on the other hand, encouraged him to retain it, saying that his path was more directly related with the mechanical theory of Clausius, and that in any event the whole matter was so new that it bore repetition (in the new *Journal of the German meteorological society*). A just advice, for it is Hertz's four stages that exerted a great influence on atmospheric thermodynamics, and Hertz's nomenclature has survived as a kind of "trade mark", enabling to say in a few words what would require longer statements (Dufour & van Mieghem, 1975), even if the three stages after the dry one do not take place in an ascending parcel exactly as they were conceived, because water in the dispersed form found in clouds normally remains liquid until temperatures lower than 0°C by several degrees (undercooled water).

We also learn from the note added in proofreading to Hertz's article that a numerical example in Guldberg and Mohn's treatment had given Hertz quite a fright when he realized that, by following their numbers on his diagram, results were good until 0°, but from then on his air parcel would cool down to the temperature of -20° at a different pressure level than what had calculated Guldberg and Mohn, the difference being too

great, according to Hertz, that he feared a "construction error" in his diagram. But to his satisfaction he found an error in the calculation of Guldberg and Mohn, and after redoing their example with the corrected value he found the difference between his diagram and the numerical result within the expected limits, especially in view of the simplifying assumptions he had himself made in devising the diagram. He asked the editor whether a note could be added in proof to acknowledge the priority of Guldberg and Mohn, as well as to point out their error so as to make sure that nobody would dismiss his diagram on the ground of that discrepancy.

Several different thermodynamic diagrams evolved since Hertz first plotted the laws of adiabatic change in ascending (or, for that matter, also descending) air. All the diagrams of the past and present serve the same basic purpose, which comfortably allow one to follow the temperature diminution of rising saturated air. Indeed, such a wealth of diagrams were proposed, with their motley denominations (emagrams, evograms, tephigrams), that the need arose early for a systematic compilation of them, the first one ably carried through by L. Weickmann (1938), who assures the reader that no essential diagram had been left out. But the story does not end that year. For example, the skew T-log P diagram suggested by Herlofson in 1947, was laid out to increase the angle between isotherms and isentropes on an energy-preserving diagram, or emagram. Angles between isopleths and other kinds of physical or meteorological criteria were wielded against each other to recommend a variation held to be not only new but compelling, depending on the uses intended. In Germany, the Stüve diagram prevailed, being still used by the German weather service. The Stüve diagram has a power of pressure along one axis and temperature along the other, and its dry adiabats (isentropes) are straight lines, a major asset for its supporters. But it does not have area proportional to energy and has therefore been judged in many quarters to be of limited value, at least when compared to energy-preserving diagrams. We are told it is still used only because of familiarity rather than usefulness (Adams, 2003).

Today the dominant diagram seems to be Herlofson's: *"Although several thermodynamic were developed following the pioneering work of Hertz, only two are in common use today: the skew T-log p (often referred to briefly as skew T) and the tephigram."* (Bohren & Albrecht, 1998). This notwithstanding, the bewildered user will do well to recall that in 1961, an eminent Spanish theoretical meteorologist, at a time when it was believed that Hertz's diagram had no more than historical value as the model for all the later ones, espoused the virtues of the latter original display: *"... but logically, Stüve's diagram should loose defenders, while the old diagrams of Neuhoff and Hertz should gain new ones"* (Morán, 1961).

Weather services across the world use one version or another of the diagram, but with present-day software it has become all too easy to plot the data from atmospheric soundings or from satellites, thus perpetuating Hertz's graphic *method* as one of the most powerful diagnostic tools available to meteorologists.

18.4 The Karlsruhe inaugural lecture

In 1997 Joseph Mulligan and Gerhard Hertz published their translation of a lecture that Heinrich Hertz delivered in 1885 under the title "On the energy balance of the Earth". The manuscript for the lecture was published a year later in German transcription (Hertz & Mulligan, 1998). Hertz's inaugural address was given on the 20^{th} of April 1885 to the faculty of the Karlsruhe Polytechnic, where he was to do the work that preserves his name in the pantheon of physics. Unfortunately, Hertz chose not to publish his lecture. After thanking his father for friendly criticism, he wrote on 14 Mai 1885: "It will not be published, not deserving to be in its present state" (Fölsing, 1997).

The topic chosen for his lecture was at once sublime and ambitious. I do not know what exactly it was that urged Hertz to deal with the energy budget of our Earth. Energy and its degradation into heat had become a popular topic in the grand scheme of the world, on which addresses were given and essays written, those by leading British authors like Kelvin, Tait or Balfour Stewart being particularly well-known. As a case in point, we may cite Tait's second edition of *Recent advances in physical science* of 1876, in which lecture VII deals with the "available sources of terrestrial energy".

In his lecture, Hertz evinces a good knowledge of the contemporary meteorological literature, particularly *"of existing estimates of the solar radiation, of the geothermal heating at the Earth's surface, and of the reserves of coal available for use in driving the steam engines that powered the factories and trains of his day"* (Mulligan & Hertz, 1997). *"His great contribution in this paper was to put all these data into a systematic overview that pointed up the finite and exhaustible nature of most of these energy sources, and to emphasize that ultimately the Earth was utterly and completely dependent on the Sun for the light and heat it needed to support life."* (Mulligan & Hertz, 1997).

The relevance of the topic chosen may be seen by the fact, whether Hertz knew or could know it or not, that the Paris Academy of Sciences offered in 1885 a prize for the theoretical solution of the problem of the heat distribution on the surface of the Earth (on which much depends for the kind of energy estimates Hertz envisaged). The laws governing the absorption of solar heat in the atmosphere, so the Academy asked, were to be ascertained and the ensuing latitudinal temperature distribution compared with observations. The prize awarded in 1888 for elaborate solutions was divided equally between the Frenchman Angot and the German Zenker. The closely connected problem of relating the insolation on the top of the atmosphere and the temperature distribution on the surface of the Earth was still seen to be the fundamental problem of meteorology and climatology in 1920 by Milankovitch, who did so much towards its solution decades after the prize question had been proposed. But the problem of knowing how much solar energy is available at the surface for conversion into other forms remains a very active field of research: *"Solar radiation data at ground level are important for a wide range of applications in meteorology, engineering, agricultural sciences (particularly for soil physics, agricultural hydrology, crop modeling and estimating crop evapo-transpiration), as well as in the health sector and in research in many fields in the natural sciences"* (Badescu, 2008).

The prize question stressed the unresolved issue of the absorption of solar radiation in the atmosphere, and Hertz duly takes it into account. The problem of the absorption of thermal radiation by the atmosphere (most important in creating the "greenhouse effect") was less well explored and hence less understood, mainly because measurement techniques of longwave radiation of relatively cold bodies were not as advanced as the investigation of the visible and near infrared solar spectrum, on which Langley had published an important work the same year that Hertz gave his talk introducing himself in Karlsruhe.

One problem connected with the transparency of the atmosphere was the estimation of what is known as the solar constant, the solar energy per unit time and unit area perpendicular to the sun's rays at the top of the atmosphere. The term had been introduced by Pouillet in 1838, together with the atmosphere's "constant" (its transparency), which is a measure of the absorptivity of the Earth's atmosphere for solar radiation. The estimates of the solar *constant* fluctuated wildly during the nineteenth century, and Hertz's value was an overestimate of the presently accepted value by about 43%, not the worst overestimate, when compared with values proposed by great meteorological authorities in the following decade.

Hertz, of course, could not help using the value for the solar constant he found in the literature. In some estimates of his, arrived at by very lengthy calculations or clever physical analogies, he is remarkably close to modern values, especially if compared with the actual solar constant of $1370\,\mathrm{W/m^2}$. But in one respect it must be noted that he, as well as many other contemporary physicists, failed to recognize an abortive reasoning, which was pointed out no earlier than in 1902 by Ekholm, who by then was able to base his own estimates on the laws of radiation of Stefan-Boltzmann, Wien and Planck: *"It is indeed very astonishing that in the last 20 years almost all physicists, who have attempted to determine the solar constant, in the calculations of their observations took for granted an exceedingly great atmospheric absorption of solar radiation, without considering that this assumption is not compatible with the factual low temperature of the atmosphere"* (Ekholm, 1902). Back in 1777, Lambert had assumed that 40% of the sun's unknown amount of radiation would be absorbed in the atmosphere, and as his overestimate dominated more or less unchallenged during the nineteenth century, we are not surprised to see Hertz taking as much as 43% of his overestimated solar constant ($1960.5\,\mathrm{W/m^2}$) to be the fraction absorbed in the atmosphere. Had he laid down what later came to be called the Stefan-Boltzmann law of blackbody radiation, observed in 1879 by Stefan and explained theoretically by Boltzmann in 1884, he would readily have found that so much energy absorbed in the atmosphere would lead to an average yearly air temperature far too high, at least compared with the then known temperature distribution in the vertical direction, to whose graphically interpreted theory he had contributed so decisively.

Today we take the atmosphere to be far more transparent than in Hertz's time, yet there is still disagreement as to the actual amount of solar radiation absorbed by a cloudy atmosphere:

> *"The absorption of solar radiation by Earth's atmosphere and surface is the fundamental forcing of the climate system. The net solar energy absorbed by*

> *the Earth-atmosphere system can be accurately quantified with satellite measurements of top-of-the-atmosphere (TOA) insolation and planetary albedo. These observations have determined that the net global annually-average solar radiation absorbed by the Earth is 239 W/m^2 with an uncertainty of approximately 2 W/m^2. This absorbed solar radiation can be written as the sum of the solar radiation absorbed in the atmosphere and by the planetary surface. Despite numerous investigations over the last 40 years, the partitioning of the absorption between the surface and the atmosphere is still very uncertain. The discrepancy between estimates from models and observational studies is known as anomalous or enhanced shortwave absorption. The enhanced absorption is usually associated with clouds, although some investigators find evidence for "anomalous" absorption in clear-sky regions"* (Collins, 2006).

No faithful summary of Hertz's lecture need be given, as it is readily available in print, together with an informative introduction by Mulligan & Hertz (1997). I limit myself to some casual comments and an appreciation of what its historical importance could have been, had Hertz published a version of it. Whenever I quote from the lecture, it should be understood that the translation by Mulligan & Hertz (1997) is being laid down, with only minor adjustments.

After asserting that an energy cycle is not possible, Hertz explains that *"the energy, by its transformation from one form to another, will indeed not be lost, but it will be certainly dissipated. It goes in the last instance consistently into one and the same form – that of heat at a lower temperature; it has then lost the ability to be converted back into one of its earlier forms"*, distressingly adding that *"all occurrences on our Earth, the blowing of the wind and the currents of the ocean, are only episodes in this conversion; even all organic life on Earth and our own very existence appear, from a mechanical viewpoint, as merely complicated detours that energy takes in passing from its initial state to its final state"*. To unfold this energy cascade it appeared to him *"rewarding to examine for once in a systematic fashion the different forms under which stored-up energy confronts us, and to ponder not only the interdependence but also the relative amounts of these different forms of energy"*. Towards that end he wished to play down the role of the energy conversions for human life, contenting himself *"to consider only the great energy supply of the Earth for its own sake"*. More specifically, he wanted to ascertain the total amount of energy constantly available on the surface of the Earth – Milankovitch's "fundamental problem of meteorology and climatology" – to be converted into other forms: *"In what order are the different forms of energy used up? And how great is the overall energy in each of these individual forms?"*

In seeking to answer these questions, he started by addressing two problems. The first and most serious one he recognized to be "our ignorance of important details", relating to the way that winds arise and ocean currents are caused. *"What do we know about the air's velocity averaged over the entire Earth"*, he asks, forestalling any expected discouragement in his great enterprise, by letting his hearers enjoy a delightful simile: *"The picture that we outline of the energy budget of the Earth may possibly have the same relationship to a correct one as the maps of the Middle Ages – in which Australia*

is missing and Ceylon appears expanded to the size of that continent – have to our present-day geographical maps. Meanwhile, in those years maps were still needed, and for the same reason we also are willing to put up with those [estimates] we have until we can obtain better ones".

Turning then to the second problem, which was only of a "formal nature", he wonders which would be the best way of representing the amounts of energy under discussion: *"Quantitative data are naturally the most exact and with numbers we can represent all amounts equally well. But they make a bad impression on an audience, and the amounts of energy that are transformed in the economy of nature are, in our manmade measures, expressible in millions, billions and trillions, and therefore in numbers of whose significance we are unable to provide any truly suitable understanding".* Thence he *"sought to employ a graphical method of representation to provide more insight."* The wall-chart Hertz used during his lecture as a vivid means to compare the relative amounts of the energy forms he wished to discuss during the lecture unfortunately was not reproduced in the English version of Mulligan and Hertz (1997). On the other hand, the German version does include a "cube diagram" designed on the basis of that wall-chart (cf. Fig. 3).

Hertz then goes on to estimate the amounts of energy involved in terrestrial processes, illustrating their relative importance with the help of his clear-cut diagram. Of his different numerical estimates, I shall pick out two or three for short comment. Of the radiation from the Sun reaching the Earth, a certain fraction will be reflected or scattered back to space, according to the "reflecting power" of the Earth, known as its albedo, since Lambert introduced the term in 1760. By laying down the then recent percentage of solar radiation scattered back by the bright Moon, Hertz judges the albedo of the Earth to be about 33%, a remarkably good estimate, especially when set against the growing values (up to 40-odd%) that dominated the following decades until the advent of satellites, which have steadily brought down the albedo again, until its present value of about 31%. Hertz expressed the terrestrial albedo in rather poetic terms: *"It represents, so to speak, the astronomical allowance of the Earth for purposes of representation"*, so as to entertain an "astonished Moon-dweller" or, I may add, a Venusian Poe(t) enraptured by Gaia's "bediamonded crescent". What a fitting description for what unimaginative meteorologists and astrophysicists call whiteness or albedo.

Sunlight that has not been scattered away to delight extraterrestrials, and which neither warms the atmosphere directly, will, upon falling on a surface mostly composed of water, be used up for evaporation. How much in one year, Hertz estimated to be 1 meter, an amount in perfect agreement with the modern estimate, and higher by 25 cm than a value cited by Lord Kelvin a few years earlier. The amount of energy needed for the evaporation furnishes, as Hertz explains, *"the heat source for a gigantic steam engine, which provides the power for the movement of the clouds, the winds, and the oceans. We can say that it serves to maintain the meteorological working of the Earth. For, as meteorology progresses, it becomes ever more clear that the principal driving force of all the more vigorous atmospheric movements is to be sought in the latent heat of the water vapor contained in the atmosphere."*

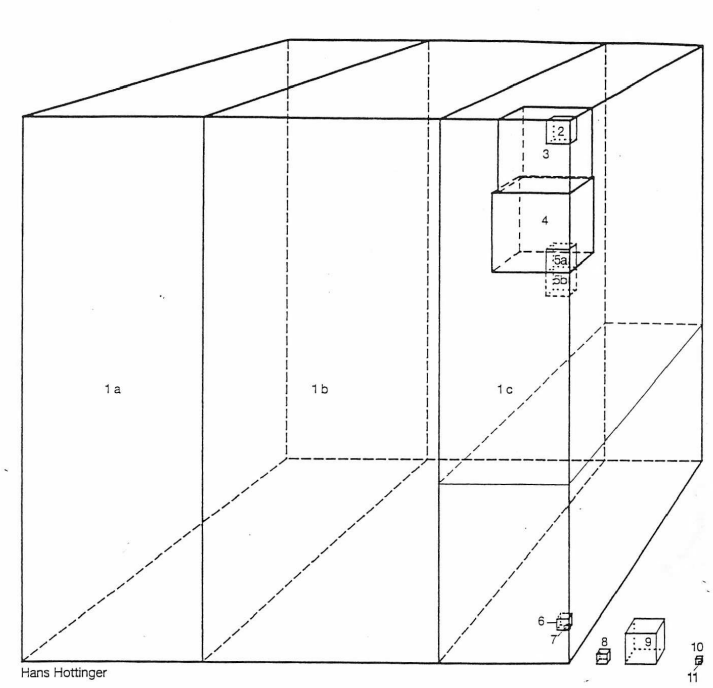


Figure 18.3:
Cube diagram as rendered by the architect Hans Hottinger for the German version of the printed version of Hertz's lecture manuscript (H. G. Hertz and Mulligan, 1998).
In the present account I refer to some of the following powers (per year):
1 a: Solar radiation reflected by the Earth (visually a good estimate)
1 b: Solar radiation absorbed by the atmosphere (grossly overestimated, cf. Fig. 4)
1 c: Solar energy consumed in evaporation of terrestrial water 3 : Energy used up in rainfall 4 : Wind energy 9 : Geothermal sources 10 : Energy stored in coal 11 : Power of steam engines.
(H. G. Hertz & Mulligan, 1998).

With two good estimates, it is time to point out one feature that is not to be found in modern energy budget diagrams, namely, the work done by rainwater, which Hertz estimated to be a sizeable fraction of the whole work needed to keep the fluids of the Earth in motion. In passing I should not fail to mention that the energy consumption due to the burning of fossil fuels is also not included in the modern diagrams, on account of its smallness, a fact most vividly depicted by Hertz in his diagram (smallest cubes in Fig. 3, barely visible).

The main tenet of his talk was energy conservation and its degradation within our Earth. He carefully eschewed the famous but obscure word coined by Clausius regarding a property of thermodynamic systems attending the fate of all useful energy. *"We do not need to gain energy from our environment, since energy is conserved. But we are continually fighting against the second law of thermodynamics. Entropy is not conserved; it is increasing all the time"*, writes a modern cosmologist (Penrose, 1989) in what is nothing

but a translation of Hertz's basic tenet of his inaugural lecture. The processes on Earth are maintained almost entirely by the Sun's energy. The light Earth intercepts from the Sun is energy arriving in a comparatively *low*-entropy form, in the form of photons of visible light, if we are allowed to apply a later picture of radiation whose nature Hertz did so much to establish as being electromagnetic waves. Our Earth does not retain the energy not reflected away, but, after some detours, as Hertz puts it, re-radiates it all back into space. This re-radiated energy is in a *high*-entropy form, called in his time 'radiant heat', and consists of infrared photons in the particle picture. By stressing that energy is dissipated as heat (without actually saying that entropy was thereby produced), Hertz tried to make the point that even though the former is conserved, it was available for useful work only in "accumulated" form. All the meteorological processes, as well as the phenomena of life, he considered to be but a roundabout way of employing energy before it reached its final state of dissipation. This view is sometimes, in modern climate theory, expressed by some authors as defining the "photon mill", which takes energy in a low-entropy form from a reservoir, dissipates it in several steps into the most disordered form of energy, namely, into the highest-entropy form called heat, and discards this heat into "the cosmos as dump for entropy thrash" (Feistel & Ebeling, 1988). The "photon mill" drives the processes of selforganization on planets, and in particular, all meteorological, oceanographic and biological processes, *"building up and keeping alive all their structures, from microscopic cell metabolism up to the giant wind circulation system of the atmosphere"* (Feistel & Ebeling, 1988). All those processes take place thanks to photons from the surface of the stars at several thousands of Kelvin, "falling down" to the 3 K of background radiation (Ebeling & Feistel, 1994).

Though this aspect of energy dissipation (entropy production) is not the chief preoccupation of most of the later meteorologists who have dealt with the global energy budget since Hertz's lecture, the detours the energy takes in its "fall" is a serious attempt to picture and quantify the most important energy conversions that take place on the Earth on a yearly basis. Hertz's was indeed the first attempt to produce what has become the standard diagram depicting the mean energy budget of the whole Earth, averaged over a year (Hertz's unit of time in that lecture). But as Hertz's attempt remained buried until 1997, we are not surprised to read, in a history of the matter, that the *"first attempt to determine the components of the earth radiation budget, on the basis of observational data, was made by Abbot and Fowle"* in 1908 (Hunt et al., 1986). And regarding the diagrammatic representation of the energy budget it was not until 1917 that the English meteorologist W. H. Dines (1855–1927) published such a display, showing at one glance the Earth's energy budget, on which all later representation are based, the most recent version being that shown in Fig. 4. *"Radiation balance and its combination with dynamics of the atmosphere is today considered as the final aim of meteorological research, if there is ever any final aim of research at all. W. H. Dines, 1917, had recognized for the first time that the various radiation quantities or, as we say today, radiation fluxes are not independent of each other but that there has to be an equilibrium between irradiation and emission of the whole system earth plus atmosphere. . . . a basic problem was formulated for the first time"* (Möller, 1972). That basic problem had been formulated by Hertz before, if with less reliable data. I even dare say that

in some respects Hertz's cubic diagram is better suited for the purpose envisaged than all the modern diagrams, and he no doubt would be recognized today as the originator of the Earth's radiation energy balance scheme with the same justness as he is held to be the father of the thermodynamic diagram of the meteorologists. Both the paper of 1884 and the lecture of 1885 testify to Hertz's uncanny capacity to synthesize complex processes in a single graphic representation.

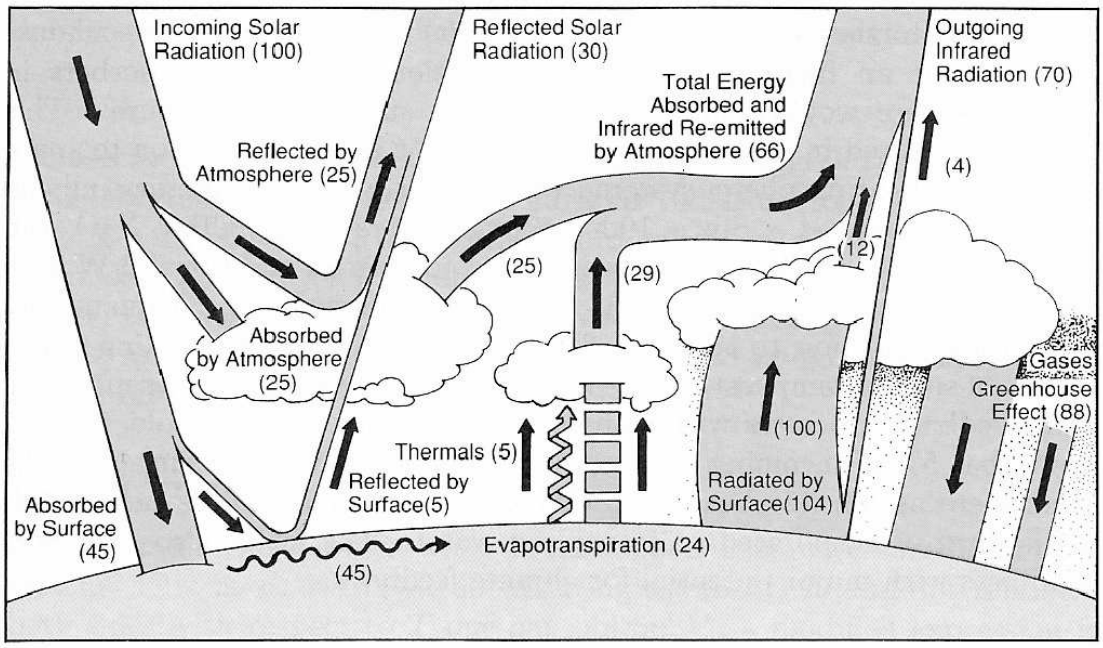


Figure 18.4:
Latest diagram of the energy budget of the Earth
the subject of Hertz's inaugural lecture in 1885.

(After Kiehl & Trenberth, 1997).

18.5 Concluding remarks

If asked, working meteorologists of today would barely be able to say what Hertz did for meteorology. Only few among them develop a historical sense, and even less find time to devote themselves to the history of their specialties. Although that state of affairs is changing, if slowly, for the better, the active meteorologist rarely knows where his methods and ideas come from.

The original reactions to the "adiabatic paper" were positive, and Hertz's fame in meteorology will forever rest on his clear exposition of the thermodynamical basis for the successful nomogram it introduces. The diagram accompanying the paper of 1884 was reproduced in textbooks and the article was translated into English early in 1893,

by the leading American meteorologist Cleveland Abbe, thereby contributing to preserve Heinrich Hertz's name in the annals of meteorology, even if only few are nowadays aware of his acclaimed graphical innovation.

His no less convincing graphical sketch of the energy budget of our own planet, on the other side, had no chance to influence the development of what has become today the foundation of the quantitative global "energetics" of the atmosphere, a basic problem in the theory of our planetary greenhouse (climate theory). Even now, the perspective offered by Hertz's lecture makes it good reading for anyone interested in understanding the relative importance of terrestrial energy resources, especially now that renewable energies have come to play such a prominent role.

There is no question to my mind that, with his gift of graphical synthesis, Hertz would have enriched the branch of meteorology traditionally known as climatology, had he only slighted for once his merciless if praiseworthy powers of self-criticism. Hertz's decision not to publish the inaugural lecture deprived meteorologists for more than a hundred years of an original diagram, as well as a witty outline of the fate of the sun's radiation on our planet. The priority for suggesting the first energy budget scheme now belongs forever to the English meteorologist W. H. Dines, as we pointed out before. But with respect to his artful thermodynamical chart, meteorologists shall always cherish the memory of him who gave them a tool so useful that it survived the electronic supersession of most of the meteorological diagrams that have been proposed before the era of the computer.

18.6 References

Abbe, Cleveland 1890: *Preparatory Studies for Deductive Methods in Storm and Weather Prediction.* Washington Government Printing Office (165 pp.).

Abbe, Cleveland 1893: *The Mechanics of the Earth's Atmosphere.* Washington D.C. (Smithsonian Misc. Coll. Vol. XXXIV) (324 pp.).

Adams, A. S. 2003: Thermodynamic Analysis in the Atmosphere. In: *Handbook of Weather, Climate, and Water.* Ed. by Potter, Th. D. and B. R. Colman. New York: Wiley Interscience, 237–253.

Badescu, V. (ed.) 2008: *Modeling Solar Radiation at the Earth Surface.* Berlin: Springer (517 pp.).

Bezold, W. von 1906: *Gesammelte Abhandlungen aus dem Gebiete der Meteorologie und des Erdmagnetismus.* Braunschweig: Vieweg (448 pp.).

Bohren, C. F. and B. A. Albrecht 1998: *Atmospheric Thermodynamics.* New York: Oxford University Press (402 pp.).

Collins, W. D. 2006: Unresolved issues in atmospheric solar absorption. In: *Frontiers of Climate Modeling.* Ed. by J. T. Kiehl and V. Ramanathan. Cambridge: Cambridge University Press, 179–216.

Dufour, L. and J. van Mieghem 1975: *Thermodynamique de l'atmosphère.* Institut Royal Météorologique de Belgique, Gembloux: J. Duculot (278 pp.).

Ebeling, W. and R. Feistel 1994: *Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution.* Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag (251 pp.).

Ekholm, N. 1902: Ueber Emission und Absorption der Wärme und deren Bedeutung für die Temperatur der Erdoberfläche. *Meteorologische Zeitschrift* **37**, 1–26.

Feistel, R. and W. Ebeling 1988: *Evolution of Complex Systems. Selforganization, Entropy and Development.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers (248 pp.).

Fjeldstad, J. E. 1925: *Graphische Methoden zur Ermittelung adiabatischer Zustandsänderungen feuchter Luft.* Geof. Publ. Vol. III, No. 13.

Fölsing, A. 1997: *Heinrich Hertz. Eine Biographie.* Hamburg: Hoffmann und Campe Verlag (605 pp.).

Hertz, Heinrich 1895: *Gesammelte Werke, Band I: Schriften Vermischten Inhalts.* Edited by Ph. Lenard. Leipzig: Johann Ambrosius Barth. (Translated in 1896: Miscellaneous Papers. London: Macmillan).

Heinrich Hertz 1977: *Memoirs, Letters, Diaries.* Arranged by Johanna Hertz. San Francisco: San Francisco Press Inc. (361 pp.).

Hertz, H. G. and F. F. Mulligan (eds.) 1998: Der Energiehaushalt der Erde. *Fridericiana – Zeitschrift der Universität Karlsruhe (TH)* **54**, 3–15.

Hunt, G. E.; Kandel, R. and A. T. Mecherikunnel 1986: A History of Presatellite Investigations of the Earth's Radiation Budget. *Reviews of Geophysics* **Vol. 24**, No. 2, 351–356.

Jungnickel, Ch. and R. McCormmach 1986: *Intellectual Mastery of Nature. Theoretical Physics from Ohm to Einstein.* Volume II: The Now Mighty Theoretical Physics 1870–1925. Chicago and London: The University of Chicago Press (435 pp.).

Kiehl, J. T. and K. E. Trenberth 1997: Earth's annual global mean energy budget. In: *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **78**, 197–208.

Kutzbach, G. 1979: *The Thermal Theory of Cyclones. A History of Meteorological Thought in the Nineteenth Century.* American Meteorological Society, Boston (255 pp.).

Lambert, Johann Heinrich 1779: *Pyrometrie oder vom Maaße des Feuers und der Wärme.* Berlin: Haude und Spener (362 pp.).

McDonald, J. E. 1963: Early developments in the theory of the saturated adiabatic process. In: *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* **44**, 203–211.

Milankovitch, M. 1920: *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire.* Paris: Gauthier-Villars (339 pp.).

Möller, F. 1972: Radiation in the Atmosphere. In: *Meteorological Challenges: A History.* Ed. by D. P. McIntyre. Ottawa: Hignell Printing Limited, 43–71.

Morán, F. 1961: Consideraciones sobre el manejo y la utilidad de los distintos diagramas aerológicos. In: *Gerlands Beiträge zur Physik* **70**, Heft 1, 24–37.

Mulligan J. F. and H. G. Hertz 1997: An unpublished lecture by Heinrich Hertz: "On the energy balance of the Earth". In: *American Journal of Physics* **65**, 36–45.

Neuhoff, O. 1900: Adiabatische Zustandsänderunegn feuchter Luft. In: *Abhandl. Preuß. Met. Inst.* **1**, Nr. 6.

Péclet, J. C. E. 1838: *Traité élémentaire de physique.* Vol. I. Paris: Hachette (3ème édition) (599 pp.).

Penrose, R. 1989: *The Emperor's New Mind.* New York: Oxford University Press (466 pp.).

Poisson, Siméon-Denis 1823: Sur la chaleur des gaz et des vapeurs. In: *Annales de Chimie et de Physique* (2) **23**, 337–352.

Roebber, E. 1845: Ueber den courant ascendant. In: *Annalen der Physik und Chemie* **LXIV**, 484–488.

Stüve, Georg 1922: Aerologische Untersuchungen zum Zwecke der Wetterdiagnose. In: *Arb. d. Preuß. Aeronaut. Obs. Lindenberg* **14**, 104–116.

Truesdell, C. A. 1980: *The Tragicomical History of Thermodynamics 1822–1854.* New York: Springer-Verlag (372 pp.).

Waldo, Frank 1893: *Modern Meteorology: An Outline of the Growth and Present Condition of Some of its Phases.* London: W. Scott (460 pp.).

Weickmann, Ludwig 1938: *Über Aerologische Diagrammpapiere.* Berlin: J. Springer (123 pp.).

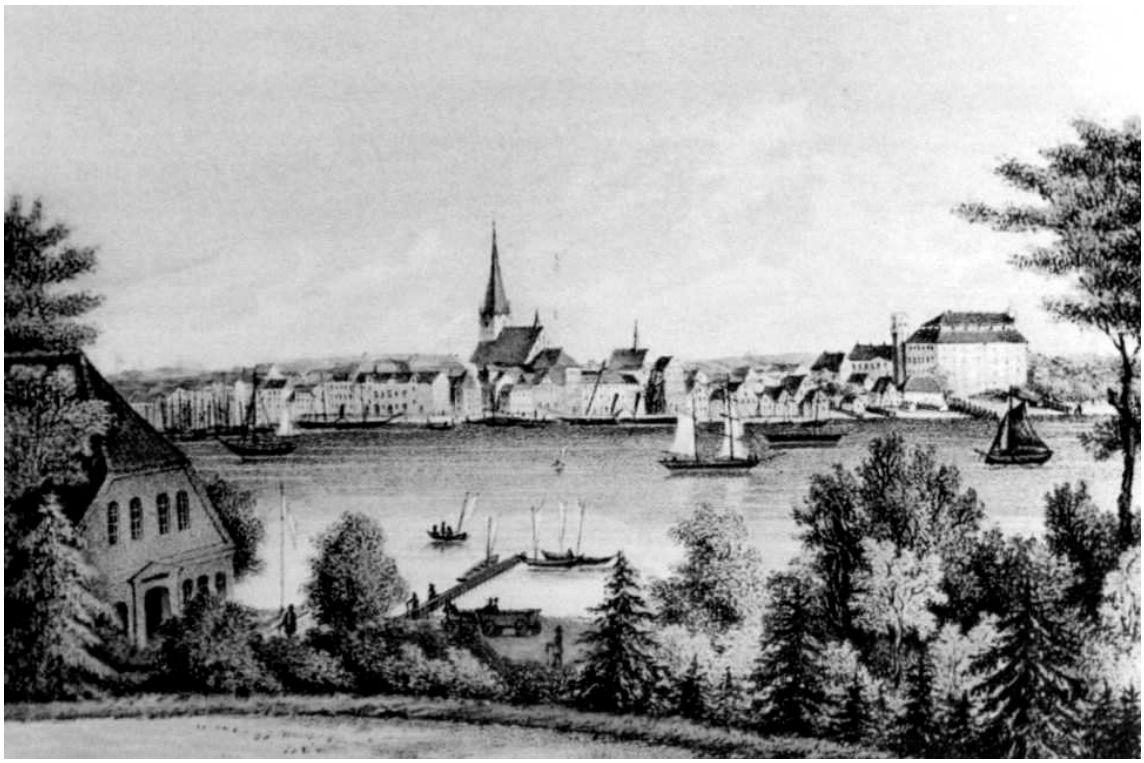


Figure 19.1:
Kiel on a contemporary postcard
http://www.daos-clan.de/Kiel/GalerienKiel/Galerie0.html – ©Pieper-Wöhlk

The Concept of 'Ether' in Hertz's Kiel Lectures and its Meaning for the Concept of Space

Frank Linhard (Frankfurt am Main)

Abstract: Das Aetherkonzept in Hertz' Kieler Vorlesungen und seine Bedeutung für das Konzept des Raumes

Dieser Aufsatz fasst die Ideen zusammen, die Hertz in seiner Kieler Vorlesung *Die Constitution der Materie* 1884 bezüglich des Aethers und des Raumkonzeptes formulierte. Im Mittelpunkt steht die Rekonstruktion des Hertzschen Raumkonzepts bevor er seine Experimente zur Fortpflanzung elektrischer Wellen durch den Raum durchführte. Es wird gezeigt, dass sich Hertz über die historische, philosophische und systematische Einbindung seines Konzepts und der von ihm untersuchten Problematik voll bewusst war. Newtons Konzept eines 'spirit' wird als Möglichkeit für eine Fortpflanzung von Wirkungen durch den Raum interpretiert. Das von Hertz in der Vorlesung diskutierte Modell wird skizziert und in Bezug zu dem historischen Problem bei Newton gesehen.

19.1 Introduction

Heinrich Hertz is known best for his seminal experiments on the propagation of electric waves through space. This paper concentrates on the period directly after he left Berlin as a postdoc to accept a teaching position in theoretical physics at the University of Kiel. Hertz stayed for some two years and had no laboratory equipment. He used the time to do conceptual theoretical work on questions on the foundations of physics. These considerations are connected to his later experiments and are fundamental for Hertz's philosophical and conceptual orientation. The public lecture he gave was intended to become a book publication and the manuscript was ready to be handed in to the publisher. I will follow Hertz' argumentation in the first part of the lecture series and show

that he was well aware of the historical embedding of the fundamental questions he was after and that he had developed a particular theoretical model for wave propagation through space well before he started his experiments in Karlsruhe two years later.

19.2 Biographical Overview

Heinrich Hertz was born in 1857 in Hamburg where he graduated from the humanist school *Johanneum* in 1875 with his 'Abitur'. In the same year he went to Frankfurt am Main to pursue practical studies in Engineering. One year later he enrolled at Dresden Polytechnics to study civil engineering for one term. After his 1877 military service at the "Eisenbahnregiment Berlin" he studied Physics at Munich Technical University and Ludwig Maximilians University (with von Jolly). In 1878 he changed to Berlin, where he met Hermann von Helmholtz and studied theoretical physics with Gustav Robert Kirchhoff. When he solved an experimental problem of electrodynamics in 1879 he was awarded a price of the Berlin philosophical faculty, leading to his 1880 publication in Annals of Physics (*Annalen der Physik*). In the same year he handed in his PhD Thesis on "Ueber die Induction in rotirenden Kugeln". Shortly thereafter he became the Assistant of Hermann von Helmholtz in 1883.

At this time Hertz was already heading towards a stipendiary 'Privatdozentur' at Kiel University, a paid position which required the formal 'Habilitation'. Only two years later he refuses an associate Professorship in Kiel, which Max Planck accepts. Hertz instead went to Karlsruhe Polytechnic (Laboratory) in 1885 where he became a professor of physics. In 1886 he started his experimental studies resuming Helmholtz's proposals of 1879. This lead in 1888 to Hertz's famous experiments on electrical waves. The important results turned Hertz almost overnight into one of the worlds most famous professors of physics. From this year on Hertz received offers of various universities (Giessen, offer to follow Kirchhoff in Berlin). What Hertz accepts is the Prussian offer of the full professorship in physics at Bonn University. In 1890 Graz University offered him to follow Boltzmann, but he declined. At Bonn Hermann Minkowski became Privatdozent for Mathematics and a friend of Hertz's. One year later Philipp Lenard became his assistant and Hertz started his work on theoretical studies on Maxwell's theory and on the *Prinzipien der Mechanik*. The year 1893 was almost entirely characterised by his work on the "Principles of Mechanics". In 1894 Hertz died January 1^{st} in Bonn.

19.3 Hertz in Kiel

When Hertz arrived in Kiel to take up the position as a *'Privatdozent'*, he formally had to pursue his *'Habilitation'* with his Berlin paper *"Versuchen über die Glimmentladung"*. When in Kiel he started to work on problems of electrodynamics. The most important outcome of this research concerning theoretical physics was, that he could show that the system of equations which is grounded on actions at a distance was not complete in its state, but if it was properly supplemented it had to give Maxwell's theory.

His 'Habilitation' colloquium took place Monday 30^{th}, April 1883. Here Hertz gave short talks on three topics:

Ueber die Theorie der Gezeiten

Ueber die kinetische Theorie der Gase

Ueber die kritische Temperatur

His Inaugural Lecture took place Saturday 5^{th}, May 1883, 5 p.m. Hertz was delighted that the lecture was attended by "8 or 9 Professors and 40–50 Students", much more than he had expected as he noted in his diary. His topic for the lecture was: *"Ueber die Grundlagen der mechanischen Wärmetheorie".*

Hertz's teaching load in Kiel 1884 for the winter term was a course on the theory of electricity and magnetism, and a course on optics for medical doctors. In summer 1884 he gave courses on hydrodynamics and a repetition course on general physics. Besides these standard duties he had to do as a lecturer he also gave a special course, which was called "Einstündiges Publikum: Ueber die Constitution der Materie" – a one hour public lecture on the constitution of matter. Hertz expected to have 15–20 participants and intended to publish the lecture as his first book. Although he was already in negotiations with a publisher the project stuck and the book was never published. Hertz had prepared a manuscript of 420 handwritten pages, which should give some 250 pages in a printed version. The manuscript survived in Hertz's private papers and was discovered by Albrecht Fölsing, who found it in the papers of Hertz's daughter. Meanwhile the book is published as a historical document by Fölsing.[1]

19.4 The Kiel Lecture

Hertz gave a conception for 10 lectures, each as a one hour "Publikum" The 420 manuscript pages are classified as:

Introduction (1 lecture)

Part I: The Aether (Der Aether) (5 lectures)

Part II: Ponderable Matter (Die ponderable Materie) (5 lectures).

His philosophical starting point is given by the question what are the fundamental component parts (of everything) and what are their simple properties? Hertz also claims in the beginning of his lecture, that the question for the final and most simple laws is identical with that for the constitution of matter.[2]

[1] Details can be found in: Fölsing, Albrecht: Heinrich Hertz. Eine Biographie. Hoffmann und Campe 1997. The book is published as: Hertz, Heinrich: *Die Constitution der Materie. Eine Vorlesung über die Grundlagen der Physik aus dem Jahre 1884.* Hrsg. v. Albrecht Fölsing. Berlin: Springer 1999. Also the lecture stems from 1884, I will cite it as Hertz 1999 throughout this paper. The page numbers given here are those of the manuscript pages.

[2] "Welches sind die letzten Bestandteile und welches sind ihre einfachen Eigenschaften?" and "ja, die Frage nach den letzten einfachsten Gesetzen ist im Grunde identisch mit derjenigen nach der Constitution der Materie." (Hertz 1999, p. 9.)

The Introduction is followed by Part I: Aether and Hertz starts his considerations with the most simple setting, that of *empty space*: freed of all ponderable matter. In this situation Hertz sees two ways of "relations" towards physical agents: First: Space as a dead, indifferent, empty nothing, through which heat, sound and electrical sparks cannot pass. And second: Space acts empty in the same way as if filled with air.[3] Furthermore Hertz discerns two groups of agents penetrating empty space.

First group:

- Gravitation
- Electric (electromotive) Force
- Magnetic Force

Second group:

- Light
- Radiant heat
- Cathode rays.

He introduces agents associated with the interactions mentioned and his program is determined by the plan to deduce the existence of Aether and its properties from the agents.[4] Hertz starts his considerations with the second group and examines the properties of light. To do so, he relies on the wave theory of light, because the success of this theory is convincing.[5] Light is a movement of waves that penetrates space, but space is void of ponderable matter. Therefore there must be something in space that allows for waves (*"das Wellen schlägt"*), and we may call this the "Aether". Light consists in excitations (*"Erzitterungen"*) of the Aether, like sound consists in excitations of air, Hertz draws as an analogy.[6] After further considerations on the wavelength and speed of light,[7] Hertz discusses the group of Heat, Light and chemical rays *"chemische Strahlen"* as essentially the same, as they are all waves of the Aether and only discerned by their wavelength.[8]

Following the identification and specification of the agents, Hertz discusses the specifications of the Aether. In comparison with air and drawing the analogue Hertz states that the Aether is absolutely homogeneous.[9] Therefore if the Aether is made of atoms, its structure must be of immense subtlety, even compared to light waves. And its atoms must be of vanishing smallness, not only compared to visible bodies, but also compared

[3] Hertz 1999, p. 47.
[4] "Indem wir uns nun an die genannten Agentien halten, wollen wir suchen, einen Entscheid darüber zu gewinnen, ob es einen Aether giebt, der den scheinbar leeren Raum füllt, und wenn ja, welche Eigenschaften wir ihm beizulegen haben." (Hertz 1999, p. 50.)
[5] Hertz 1999, p. 57.
[6] Hertz 1999, p. 64.
[7] Hertz 1999, p. 69/70.
[8] Hertz 1999, p. 77.
[9] Hertz 1999, p. 84.

to the atoms of ponderable matter.[10] On the other hand in comparison with water, Hertz finds for the velocity of wave propagation that the velocity of waves in the Aether is 200.000 times larger than in water. Hertz also points to the examinations of Sir William Thomson (Lord Kelvin) on the weight of the Aether. This lead to a value of $1\,\mathrm{km}^3 < 1\,\mathrm{kg}$. For longitudinal waves it is found, that the direction of vibration of the single waves is the same as the direction of propagation of the entire wave. Thus the wavelength and one direction determines a longitudinal wave. For transversal waves the situation is that the vibrations of the single waves occur perpendicular to the direction of propagation. And therefore wavelength, direction of propagation and plane of polarisation are needed to characterise the transversal waves. Although Hertz assumes the difference between longitudinal and transversal waves as well known, he gives some examples. Light waves are transversal waves. Transversal waves occur only in elastic solids. Therefore the Aether moves like an elastic solid.[11] Within the Aether we shall conceive the properties of an ideal fluid and of an ideal solid at the same time. This leads to a contradiction. But Hertz is convinced, that we may expect its solution from the future.[12] But from this contradictive situation it seems clear, that one of our conditions must be wrong. The options are:

Light may be not a wave phaenomenon (seems hard to believe)

The vibrations are not transversal (phaenomena give strong support)

The vibrations are not elastic (what else could they be?)

19.4.1 Transversal and Longitudinal Waves

From this Hertz draws some questions like: If the waves of light and radiating heat are transversal, where are the longitudinal waves of the Aether? If there were none, it would be a surprise. And this leads him to some speculations: These longitudinal waves of the Aether may be connected with or related to cathode rays.[13] Another question if cathode rays could be thought of longitudinal waves of the Aether concerns not well understood phaenomena. If we are missing longitudinal waves in the Aether on one hand, we know of phaenomena which are essentially unexplained on the other hand. They could close this gap and could provide the image (*Bild*) of the Aether we are conceiving with life and clarity (*Abrundung*).

Following his discussion of agents and well aware of the historical dimension of this discussion, Hertz addresses the question of action at a distance: Is there instantaneous action at a distance?[14] Hertz sees quite clear, that distance is nothing to the Agents of the first group. They overleap space. These Agents of the first group were Gravity, Electrical Force and Magnetic Force. A short inspection of the historical tradition shows Hertz, that there is no conclusive votum of the authorities:

[10] Hertz 1999, p. 89.
[11] Hertz 1999, p. 98.
[12] Hertz 1999, p. 100.
[13] Hertz 1999, p. 102–107.
[14] Hertz 1999, p. 112.

Famous Euler denies any action at a distance and tries to explain it by the action of contiguous particles. Huygens, who invented the wave theory of light, explains gravity by the rapid movement of Aether particles. "But against them rises the colossal figure of Newton, the discoverer of gravity."[15]

Hertz refers to Newton and cites from the *Scholium Generale* which was added to the second Edition of Newton's Principia in 1713. A passage which is found at the very end of Newton's most important work. Hertz calls the passage a strange remark on the question concerned, i. e. that of action at a distance. The remark was interpreted in different directions, but for Hertz it seems out of doubt that Newton did not conceive gravity as something acting through space, but interceded by some spiritual agent. And Hertz is also sure that the agent is meant to be very close to God himself.[16]

Therefore Newton's position on gravity seems to be for Hertz, that it does not act through space and that gravity is mediated by a spiritual agent. The spiritual mediator is simply God.[17] The passage in the original is: "A few things could now be added concerning a certain very subtle spirit pervading gross bodies and lying hidden in them; by its force and actions, the particles of bodies attract one another at very small distances and cohere when they become contiguous"; (translation Cohen 1999)[18]

The difference in the competing views is seen best, if we conceive just a single "graviting", magnetic or electric body. For view one every action to the outside is negated by the word "single", while for the second view the action is still present, as if there would be many bodies. The action consists in a change of the surrounding space in some peculiar manner. The thus changed space is here therefore called a field of force.[19]

19.4.2 Action at a Distance and the Propagation of Forces

Let us now take a look at the agents of the first group, the actions at a distance or "Fernkräfte". These are gravity, and the electric and magnetic forces. With light we were sure that it propagates from point to point. We even knew the velocity of this propagation before we knew much about its nature. With actions at a distance it is quite different:
We do not know if there passes time before the action of one body on another can be realised.
We do not know if gravity needs more time to bridge the distance from the sun to the remotest nebula than to the nearest comet hitting almost its outer boundaries.

[15] Hertz 1999, p. 113/114.

[16] „Newton hat aus der Zeit seines Alters uns einen sehr merkwürdigen Ausspruch über diese Frage hinterlassen, der zwar nach verschiedenen Seiten interpretiert ist, der aber doch im Zusammenhang mit der Gelegenheit, bei der er gethan wurde, keinen Zweifel daran läßt, daß Newton sich die Schwerkraft nicht durch den Raum wirkend dachte, sondern vielmehr vermittelt durch ein geistiges Agens, und es unterliegt kaum einem Zweifel, daß er sich als diesen geistigen Vermittler einfach Gott dachte." (Hertz 1999, p. 114.)

[17] Hertz 1999, p. 114.

[18] Sir Isaac Newton: *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy.* Tr. by I. B. Cohen and A. Whitman, with the assistance of J. Budenz. Berkeley California 1999.

[19] Hertz 1999, p. 118.

These forces do not seem to care about distance they seem to jump across any distance in space.

First Hertz takes a look at the "authorities": There is famous Euler who denies any action at a distance and explains everything from the actions of contiguent particles. Earlier is Huygens the inventor of the successful wave theory of light, explaining gravity by the action of fast moving particles of the Aether. But against them rises the colossal figure of Newton who discovered gravity. Newton's remark saw a lot of interpretation, but for Hertz it seems clear that he did not believe gravity to be acting through space, but he thought it was mediated through a spiritual agent, and there is no doubt that he simply thought this spiritual mediator was God himself.

Hertz observes that in recent times the fight that seemed to cease with respect to gravity did rise again about the magnetic and electric forces. On one side Wilhelm Weber in Göttingen reduced the complicated system of electrodynamical and magnetic forces to a system of actions at a distance between the electrical particles. On the other side there is Faraday in England who found in countless experiments – not guided, but as well not influenced by mathematical education – that he could master the complicated distribution of the forces by assuming that these forces are materialised within space. There is Maxwell who gave these views a mathematical structure and showed its advantages.[20]

As an example Hertz mentions gravity between the sun and the planets and he sums up the differences between the two competing views that he discerns among the opinions within the scientific community of the time. He considers only one graviting, magnetic or electric body. According to the first view any action to the outside is negated by the small word "one", while for the other view there is action in the same view as if there were many bodies. This action means that the surrounding space is changed in a peculiar matter. Therefore there was given a special name to this changed space, it is called a field of force, namely a gravitational, electrical or magnetical field.[21]

The important thing here is that the agents of the second group, those acting at a distance can be described by a field theoretical picture. If they must be described in terms of a "changed space" they seem to have a material representation within space. It should be observed that Newton's agent, which can in some interpretations be seen as God himself, accounts in some respect for the same thing. For Newton it was clear that God had to be present in material terms within the physical world and gravity as an omnipresent principle seemed to be the right place for the presence of God.[22]

In his third lecture on action at a distance Hertz tries to find more scenarios seeming suitable to show the physical implications for the concept of space. Suppose we would have a system of bodies; a world which floats free in space with all forces acting to the distance. These forces in outer space are real entities in space according to the point of view we have adopted. They are tensions, distortions or polarisations or however we want to call it or think about it. In this picture changes in our world lead to changes in

[20] Hertz 1999, p. 115.
[21] Hertz 1999, p. 118.
[22] For details of this connection see: Frank Linhard: Newtons spirits und der Leibnizsche Raum. Hildesheim 2008.

outer space.[23] Suppose now there is a closed surface, e. g. a sphere, enclosing our world. Consider now the force within the sphere: These forces as well are going to change if the acting bodies move, but theory tells us as much as experience that there is an infinite number of changes we can apply to the bodies in our world without changing the forces within the surface.

One would say: If your point of view is right the state of every closed surface includes the cause for the state of the following. Thus action can pass to outer space only via intermediation of the inner surface. As the same causes lead to the same results, it is necessary that if in only one single closed surface the forces under different circumstances are the same, they are the same for the whole of outer space. In general this will not be the case and therefore it is impossible to conceive forces as propagating from surface to surface. [24]

19.4.3 Potential Theory

In our days – says Hertz (so he talks about 1884) – the actions at a distance in nature are experimentally well known and their theories are involved not the least through development and ongoing usage of the so called potential theory. He mentions that this theory stems from Laplace, but was driven further by Gauß.[25] One of the results of potential theory is this: All forces acting like an inverse square law (r^{-2}) – and all known actions at a distance act like that – share the mathematical pecularity that the argument given above does not apply to them, as they are well defined for the entire outer space if they are given for one closed surface around the given masses.[26]

Hertz thereafter lets us consider not only one surface, but indefinitely many of arbitrary shapes but one enclosing another. Now let us suppose there is a guard with every layer reporting any change. If we now excite our world soon the nearest layers will send reports. In general all layers will do so, but in some cases there will come no report from the remotest layers. What potential theory tells us, that there will never be a layer not reporting if it is located between two reporting ones. If there is a change in every layer between us and this one and if there is somewhere no change, we know for sure that the even more remote layers will see no change.[27]

Then Hertz recalls that the changes are only supposed. If the forces exist, if they are present in the outer empty space, there is indeed a high probability for them to propagate from particle to particle. But it is actually in question if they exist at all. What potential theory says remains, but the described situation is just a feature of geometry, although it applies to all known actions at a distance. On the other hand it is independent from the type of explanation and therefore without any influence on it.

[23] Hertz 1999, p. 124.
[24] Hertz 1999, p. 126.
[25] It is worth to mention that Hertz had contact with the potential theory in the first year of his studies in physics, when he read the original works of Laplace and Poisson.
[26] Hertz 1999, p. 128.
[27] Hertz 1999, p. 131.

In the remainder of this lecture, i. e. on the following pages, Hertz gives more examples for actions at a distance and mediated propagation, before he turns to magnetical and electrical phaenomena. He says: "No physicist who examines these forces for their essence, no technician who tries to make use of them in machines, no human being at all knowing them better than from hearsay uses the old view of forces acting at a distance in every day practical applications, whatever theoretical concept he will have. If he asks himself 'how should I setup this experiment or this machine', he does not see the old straight lines from point to point and their parallelograms of forces before his inner eye, but he sees Faraday's curvy linear lines of force. That is enough."[28]

After this introduction he explains the concept of potential as referring to a certain magnitude for every point in space providing in a most simple manner all the forces acting in this space. It was introduced by 'the great mathematicians Lagrange and Laplace'. All this is directly related to the theory of action at a distance, but Laplace observed that the potential for forces that are realised in nature is governed by a peculiar differential equation, and he himself made use of this peculiarity.[29] With this Hertz refers to Laplace's equation, but he explains the meaning of potential theory further: To say 'a magnitude is governed by a differential equation' means just: its values in infinitely close points depend from each other. So if we say of the potential that it is governed by a differential equation, it means finally: the forces in infinitely close points (places) are dependent from each other, they are determined through this. Furthermore, if we ground our reasoning on this differential equation we have left the ground of the theory of action at a distance, as we observe an action from particle to particle.[30]

In the next section Hertz examines the reasons why electrical and magnetical forces do exist in space and that they propagate from particle to particle. He gives three reasons:

1. The physical, non-metaphysical, difficulties the theory of action at a distance encounters in describing these forces.
2. The fact that if theses forces act through ponderable bodies they are present within them with no doubt in the same way as we expect them to be present in empty space. Therefore we do not only gain a suitable picture of the state of empty space, but we also do not have to conceive any properties of it, we did not already observe in touchable bodies.
3. The wonderful relation between electrical forces and light.[31]

Hertz points out that in the theories of electricity and magnetism there are many forces acting at a distance. There are the attractions of electrical masses to others, the attractions of magnets to magnets, there are the attractions of current elements to other current elements, the electromotive actions of moved currents and moved magnets, the magnetic actions of mechanically moved electricity. All these are laws of action at a distance and they all carry an inverse square relation in them. Hertz refers to the

[28] Hertz 1999, p. 145. Translations are mine.
[29] Hertz 1999, p. 151.
[30] Hertz 1999, p. 152.
[31] Hertz 1999, p. 156.

attempt of Weber 1846 to reduce all these forces to one elementary force of the action at a distance type. And it is here where he gives the only formula of the entire lecture, it is Weber's law of force:[32]

$$Kraft = \frac{ee'}{r^2}\{1 - \frac{a^2}{16}\frac{dr}{dt}^2 + \frac{a^2}{8r}\frac{d^2r}{dt^2}\}$$

This force is only dependent from distance, velocity in the direction of the connecting line and the acceleration along this line. The law is useful indeed – says Hertz –, but there was an objection raised against it by Helmholtz, who said it is impossible as it violates the principle of conservation of force. Therefore Hertz gives his own opinion in the lecture: "The law cannot be of high probability."[33]

The reasons for this opinion are given accordingly. The way in which electrical actions propagate through isolators is the first one. Hertz gives a short introduction: There is isolators and conductors, he says, and it is well known that isolators allow the electrical forces to propagate through them while conductors do not. Faraday already showed that isolators have effects on electrical forces and therefore are not neutral to electrical influences. So nowadays (1884) they are often called 'Dielectrica' and the fundamental laws are included in all competing theories.

When Hertz introduces his 'Gedankenexperiment' in the next section he is right on the way to set the fundaments for his explanation of propagation through empty space.

19.4.4 Gedankenexperiment

Hertz constructs the following setting: Consider a hermetically sealed chamber with an electrifying device ("Elektrisiermaschine"), several electrometers, a scale and other apparatus and start to do experiments on the distribution of the electrical forces and their magnitudes. We use the device to electrify a sample of bodies, we measure direction and magnitude of the electrical force with the electrometer in every point of the space in the chamber. Then we imagine the lines of force drawn with the help of the data – be it as a geometrical fiction. Finally we determine the absolute attractions with the scale. All this should have been done while the chamber was evacuated. If we now let in some gas which may easily liquify, as e. g. petrol vapour, but should stay in the aggregate state of gas. Within this scenario everything but the absolute amount of force by which the bodies are changed remains the same. Even if we cool down the chamber and the gas liquefies, the distribution of the forces within space remains the same, only the absolute amount of force changes. Even if we use another liquid this will be the case.[34]

From this Hertz draws conclusions, as accordingly the electrical forces are in all dielectric media distributed in the same manner, just their absolute amount differs and they are distributed in all of them in the same way as in empty space. From a purely geometrical point of view we may consider empty space as a special form of dielectric.[35]

[32] Hertz 1999, p. 159.
[33] Hertz 1999, p. 162.
[34] Hertz 1999, p. 168.
[35] For the meaning of geometrical considerations for Hertz's Mechanics see: Jesper Lützen: Mechanistic Images in Geometric Form: Heinrich Hertz's Principles of Mechanics. Oxford 2005.

And further: As soon as we do not use empty space as the dielectric but a liquid like petrol, we can show that the lines of force are not simply mathematical fictions, but that everywhere where they are present the petrol seems changed in some peculiar way. And this way is related to the direction of the lines of force.

Hertz explains this relation by another example: If we imagine a small air bubble in the petrol, the bubble will have the shape of a sphere where no lines of force are present. But if we move the bubble to places where forces are present, it will change its shape and approach that of a rotational ellipsoid having its axis in the same direction as the lines of force. There is no doubt – for Hertz – that the presence of the purely geometrical lines of force in the isolator is related to a physical change.[36]

After this excursion he returns to the properties of light. Light is an extraordinary reagent for changes that a body causes according to direction, he claims. If light passes through a so called isotropic body the direction is of no influence on the changes, but if it passes through an anisotropic body the direction is of influence: the beam splits up into two perpendicular polarised beams, which have in general different velocities. This can also provide a way to make the electrical lines of force visible, Hertz is convinced. If we examine our conceived liquid with light beams we find it not isotropic in any region that has geometrical lines of force. It behaves like a mono axial crystal having its axis in direction of the lines of force. Thus we are able to show by the use of light if there is electrical force in a place without using an attracted electrical body. Therefore the presence of the force is not dependent from the existence of a second (ponderable) body.[37]

In the following lecture Hertz gives a summary of his results so far. First, the magnetic and electric forces act in general through space filled with ponderable matter and they show their presence by direction and magnitude not only through their action on electric and magnetic masses but through a changed state of ponderable matter as well. Second, the distribution of forces is the same in different ponderable substances, and it is also the same as in so called empty space. Third, it seems plausible that empty space behaves like one of the other substances and that also in empty space the same system of changed states and forces invoked thereby can be found, but one cannot show this by the same means, we use with the other substances.[38]

On the other hand, Hertz admits, that these results can not be considered conclusive, as our opponents will show that the facts can be explained if one supposes that the changed states of ponderable matter are just the results of the forces acting at a distance on some amounts of electricity contained in the particles of ponderable matter. "If we listen to them,. . . ", Hertz says, ". . . we must concur they are right." One cannot disprove them.[39]

[36] Hertz 1999, p. 170.
[37] It is clear that Hertz does not consider light as a body.
[38] Hertz 1999, p. 180.
[39] Hertz 1999, p. 180.

19.4.5 The Electrodynamic Theory of Light

As already announced, Hertz then turns to a summary of the electrodynamical theory of light, to draw further conclusions from the properties of light. He notices:

- Light consists of electric polarisations of media.
- The polarisations propagate like waves.
- The electrodynamic theory of light is a form of the wave theory of light.
- Light passes through empty space like through ponderable matter.

If it is possible to make this view of the nature of light plausible, we will win the game, as those states must also exist in empty space and they must propagate from particle to particle.[40]

Hertz also gives a short history of the theory, starting with Bernhard Riemann who claimed on February 10^{th}, 1858 before the Academy in Göttingen, that electrical action propagates with a finite velocity equal to that of light, but unfortunately Riemann withdrew the manuscript. Different from James Clerk Maxwell who claimed the same thing on October 27^{th}, 1864 before the Royal Society and he published "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field" in the Philosophical Transactions of 1865. In 1867 Lorentz claimed that electrical oscillations persist in the Aether and that they propagate according to the laws of light. Hertz says, that the theory in recent years was rising: Experimental evidence cumulated and experiments grounded on the theory were successful.[41]

19.4.6 Dielectric Polarisation and Inertia

In the next section, Hertz is turning to is the question of dielectric polarisation. He gives the following definition: It is that state of constraint, confinement or tension of media an isolating body reaches if electrical forces act through it, like the old theory would say, or if we use it as carrier of electrical forces (*"Überträger"*), like we would say. The state is characterised for every point by magnitude and its direction. This is enough to define it mathematically and to use it for calculations.

Consider e. g. AB as a block of paraffin or a tube full of petrol. If we connect A and B to a battery we have *polarised* AB. The creation of a dielectric polarisation, the annihilation of one, in short every change of it is an electric current and goes together with all its actions, although on the other hand not every electric current can be described as a changeable dielectric polarisation.[42]

What Hertz points out as important is, if there was a system of polarisations present and if there is none just a moment later, then the annihilation caused the same actions within the entire outer space like those of the electric current. If we have two sticks of paraffin and polarise them in the same direction they will attract and if they are

[40] Hertz 1999, p. 181.
[41] Hertz 1999, p. 187.
[42] Hertz 1999, p. 190.

polarised in the opposite direction they will repulse like currents, but all these actions are too weak to be measured.[43]

Electric currents that vary their amperage cause induction. If we place a wire close to another one that conducts electric current, we will observe nothing as long as the current is in uniform flow, but if we interrupt the current by e.g. cutting the wire, we will find a current in the second wire flowing in the same direction as the interrupted one. It is like the first current has some inertia.

19.4.7 Hertz's Dipole

Consider two spheres of metal connected by a rod of copper and imagine the spheres as oppositely charged and now discharged through the rod.

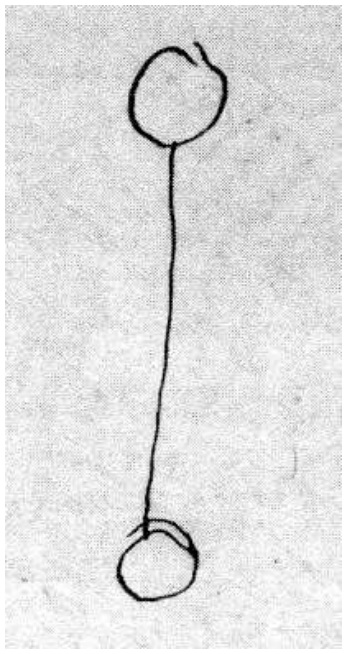


Figure 19.2:
Hertz's drawing of the dipole

Kieler Vorlesung von Heinrich Hertz
©mit freundlicher Genehmigung von Springer Science+Business Media

The discharging needs less than 1/1000 of a second. What happens is this: There is the flow of a current through the wire, but this current causes an induction on its own path, which means that it shows a inertia. Therefore it does not come to rest after the spheres are discharged, but it goes on and charges the spheres in the opposite way. If the upper sphere was positive it now becomes negative. The more the current enhances the

[43] Hertz 1999, p. 195.

charges the more it loses its power and the spheres are finally charged in the opposite way, starting the game in the opposite direction, going on and on.[44]

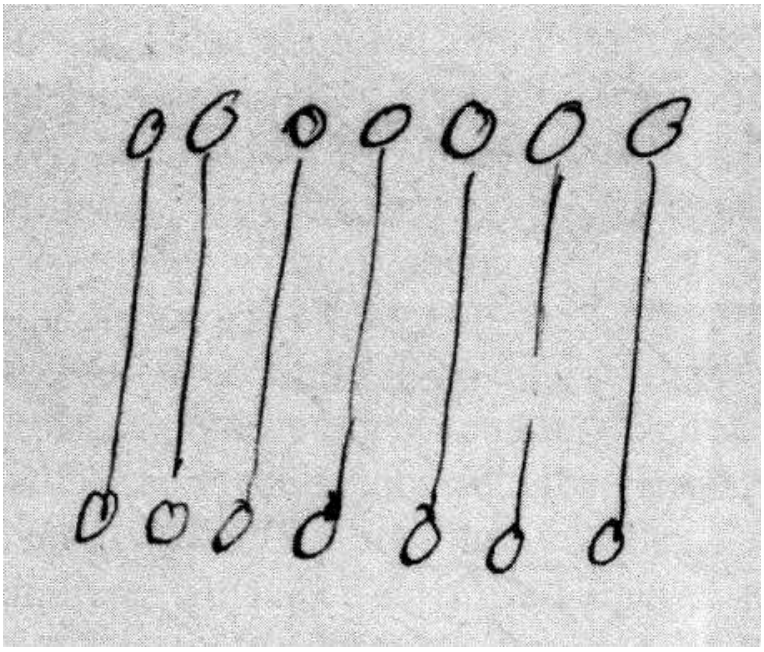


Figure 19.3:
A large number of oscillators in one row

Kieler Vorlesung von Heinrich Hertz
©mit freundlicher Genehmigung von Springer Science+Business Media

Consider now a large number of oscillators in one row: "We excite the outermost of our tuning forks into its oscillations."[45] The inductive force of the current in the second oscillator is almost as strong as in the first one and so on. We suppose that the resistor is infinitely small and find that the whole row will start to oscillate. The electric oscillation of every single conductor will have the same magnitude and duration like in the first one, but every conductor will be behind its predecessor. Therefore every oscillation excited in the first one will occur a little bit later in the next one. It will propagate like a wave and we may say that it *is* an electric wave.[46] The velocity of propagation may be measured.

Now let us use polarised sticks instead of the conductors. If we start to polarise one, we will have a wave propagation in the same manner as with the conductors. Nothing will change in principle if we use indefinitely long sticks which lie contiguent. Thus we obtain an indefinitely extended uniform medium. If we excite dielectric oscillations at the outside, they will propagate to the inside like waves and these waves are transversal waves independent if the dielectric is a solid or a fluid! In optics we did ask: How are

[44] Hertz 1999, p. 199.
[45] „Wir versetzen die äußerste unserer Stimmgabeln in ihre Oszillationen." (Hertz 1999, p. 199.)
[46] Hertz 1999, p. 202.

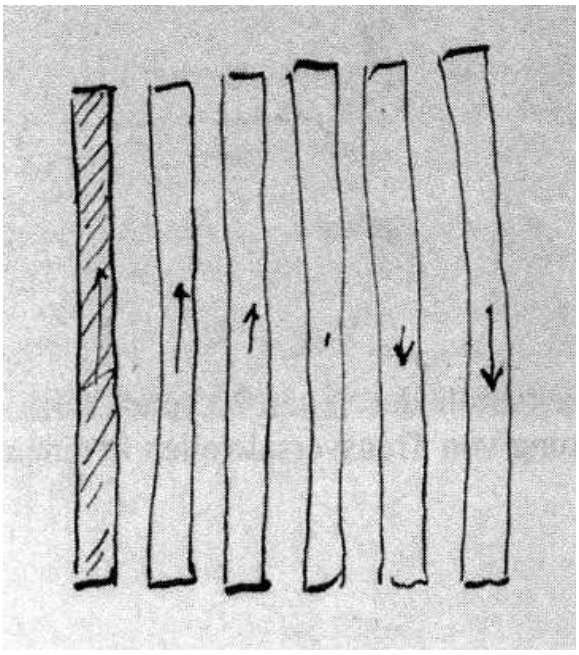


Figure 19.4:
Polarised sticks

Kieler Vorlesung von Heinrich Hertz
©mit freundlicher Genehmigung von Springer Science+Business Media

transversal waves possible in a fluid? Now we ask: How fast are they? The velocity depends on the medium, in empty space it is that of light.[47]

19.5 Newton's spirit

In the 'Scholium Generale', first appearing at the end of the second edition of Newton's *Principia*, Newton indeed connected space and God closely:

> "The supreme God is an eternal, infinite, and absolutely perfect being; but a being, however perfect, without dominion is not the Lord God. [...] And from true lordship it follows that the true God is living, intelligent, and powerful; from the other perfections, that he is supreme, or supremely perfect. He is eternal and infinite, omnipotent and omniscient, that is, he endures from eternity to eternity, and he is present from infinity to infinity; he rules all things, and he knows all things that happen or can happen. He is not eternity and infinity, but eternal and infinite; he is not duration and space, but he endures and is present. He endures always and is present everywhere, and by existing always and everywhere he constitutes duration and space,

[47] Hertz 1999, p. 205.

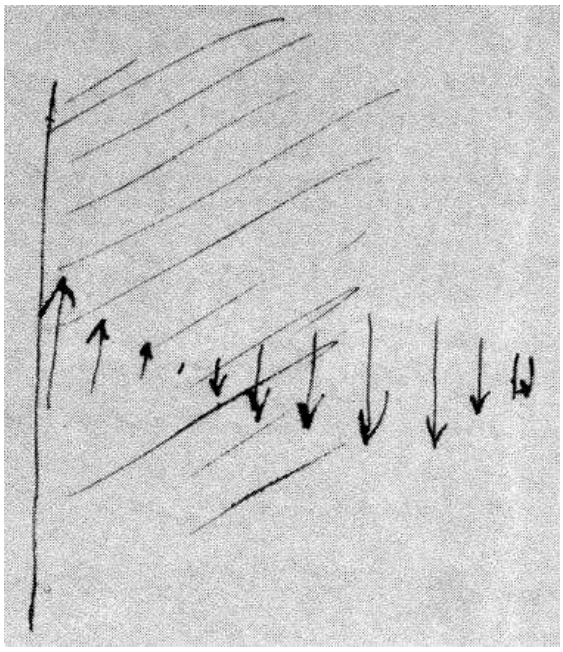


Figure 19.5:
An indefinitely extended uniform medium

Kieler Vorlesung von Heinrich Hertz
©mit freundlicher Genehmigung von Springer Science+Business Media

> eternity and infinity. Since each and every particle of space is *always*, and each and every indivisible moment of duration is *everywhere*, certainly the maker and lord of all things will not be *never* or *nowhere*."[48]

Although giving this close connection he explicitly states that 'he is not duration and space'.[49] The 'Scholium Generale' closes with the intriguing passage concerning Newton's 'certain very subtle spirit':

> "A few things could now be added concerning a certain very subtle spirit pervading gross bodies and lying hidden in them; by its force and actions, the particles of bodies attract one another at very small distances and cohere when they become contiguous; [...] But these things cannot be explained in a few words; furthermore there is not a sufficient number of experiments to determine and demonstrate accurately the laws governing the actions of this spirit."[50]

[48] Newton 1999, p. 940–941.

[49] For a recent discussion of the 'Scholium Generale', see Stephen Snobelen: God of gods, and Lord of lords: The Theology of Isaac Newton's General Scholium to the Principia. In: Science in Theistic Contexts: Cognitive Dimensions. Ed. by John Hedley Brooke, Margaret Osler and Jitse van der Meer. *Osiris* **16** (2001), p. 169–208.

[50] Newton 1999, p. 943–944.

This passage was widely discussed among Newton scholars.[51] It even lead to some trouble when the second edition of Newton's *Principia* was reviewed in the Leipzig *Acta Eruditorum* in 1714 by Christian Wolff. Wolff in his review invoked a connection to Henry More's hylarchic principle and infuriated Newton by seeing his proposals for propagation of physical action close to More's world of spirits. Henry More mentions his principle at several places. He aims at establishing a connection between matter and spirit. This connection is what he calls 'Hylopathia'. Starting from the passage at the end of the 'Scholium Generale' about *'a certain very subtle spirit pervading gross bodies and lying hidden in them; by its force and actions, the particles of bodies attract one another at very small distances and cohere when they become contiguous'* one is tempted to identify this 'spirit' with Newton's 'active principle' of *'cohaesio'*, known from Query 31 of the *Opticks* from 1717. Since the 'active principles' of Newton are widely discussed in the scholarly literature,[52] I give only some short citations from the second edition of the *Opticks* 1717, the famous former Quaestio 23 of the latin 1706 edition is now Query 31:

> "There are therefore Agents in Nature able to make the Particles of Bodies stick together by very strong Attractions. And it is the Business of experimental Philosophy to find them out.
> Now the smallest Particles of Matter may cohere by the strongest Attractions, and compose bigger Particles of weaker Virtue; and many of these may cohere and compose bigger Particles whose Virtue is still weaker, and so on for divers Successions, until the Progression end in the biggest Particles on which the Operations in Chymistry, and the Colours of natural Bodies depend, and which by cohering compose Bodies of a sensible Magnitude [...]"[53]
> "It seems to me farther, that these Particles have not only a *Vis inertiae*, accompanied with such passive Laws of Motion as naturally result from that Force, but also that they are moved by certain active Principles, such as is that of Gravity, and that which causes Fermentation, and the Cohesion of Bodies. These Principles I consider, not as occult Qualities, supposed to result from the specifick Forms of Things, but as general Laws of Nature, by which the Things themselves are form'd; their Truth appearing to us by Phaenomena, though their Causes be not yet discover'd. For these are manifest Qualities, and their Causes only are occult."[54]

Henry More's spirits may not look exactly like Newton's concept, but some striking parallels can be identified. The *Spirit* of Henry More may not be the same as Newton's 'certain subtle spirit', but Newton's 'spirit' is 'pervading gross bodies and lying hidden in

[51] Bernard Cohen gives an overview in his Paragraph 9.3 and comments in footnote p in Newton 1999, p. 943, on the various discussions.

[52] E. g. McGuire, J. E.: Force, Active Principles, and Newton's Invisible Realm. In: *Ambix* **XV**, p. 154–208.

[53] Isaac Newton: *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light.* London (2nd edn) 1717, p. 369–370.

[54] Newton 1717 p. 376–377.

them',[55] while More's '*Spirits* do penetrate *Bodies*, yet they are not such thin and lank things that they must of necessity run through them, or be unable to take hold of them, or be united with them, but that they may fill up the capacity of a *Body* penetrable by *Spirits*'.[56] Both agree that there are 'manifest operations in Nature, that *Reason* can demonstrate not to be from the *Matter* it self', as More states it, and Newton is not satisfied with the mere properties of matter as well: 'these Particles have not only a *Vis inertiae*, [...], but also that they are moved by certain active Principles, such as is that of Gravity, and that which causes Fermentation, and the Cohesion of Bodies.'[57]

One may be not convinced by this non materialist parallel, but Newton himself was definitely not amused. He felt that the Acta review needed to be publicly answered. While he was busy in the promotion of his *'Commercium Epistolicum'*, he decided to place some remarks on the insinuated connection with Henry More into *his* review of the *Commercium*. The review appeared anonymously in 1715,[58] where he wrote:

> "And after all this, one would wonder that Mr. *Newton* should be reflected upon for not explaining the Causes of Gravity and other Attractions by Hypotheses; as if it were a Crime to content himself with Certainties and let Uncertainties alone. And yet the Editors of the *Acta Eruditorum*, have told the World that Mr. *Newton* denies that the cause of Gravity is Mechanical, and that if the Spirit or Agent by which Electrical Action is performed, be not the *Ether* or *subtile Matter* of *Cartes*, it is less valuable than an Hypothesis, and perhaps may be the Hylarchic Principle of *Dr. Henry Moor*."[59]

Here he also mentions the electrical action explicitly, showing that Hertz was indeed right in seeing the passage related to his problem.[60]

19.6 Conclusion

When Hertz addressed fundamental questions in his Kiel lecture of 1884, he was well aware that the fundamental problems of the propagation of actions through space already had a tradition for more than two hundred years. Especially the question of Newton's spirits or his active principles is close to the fundamental question as was discussed in the various interpretations of Newton's passage, which also Hertz mentions. The questions concern the properties of space, those of forces and the mechanism of propagation through space, if there is such a mechanism. In Newton the electric and magnetic forces are mentioned only marginally, but the problems were already contemporarily discussed fiercely, as I sketched in reconstructing the comparison of Newton's spirit with Henry

[55] Newton 1999, p. 943, General Scholium.
[56] Henry More: *An Appendix to the foregoing Antidote against Atheism.* Cambridge 1662, p. 153.
[57] Newton 1717, Query 31.
[58] Isaac Newton: 'An Account of the Book entitled Commercium Epistolicum Collinii et Aliorum.' In: *Philosophical Transactions* **29** (1715), p. 173–224.
[59] Newton 1715, p. 223.
[60] I have discussed the entire story in extend in my "Newtons spirits und der Leibnizsche Raum".

More's hylarchic principle. For Hertz the situation required definitely an electromagnetic solution, as approaches to use mechanic explanations seemed unsuccessful already. Important for Hertz's approach is that he is not so much concerned with the competing theories of Weber, Helmholtz and Maxwell, concerning electromagnetic force, as he only discusses them marginally. He is interested in a convincing theoretical model for wave propagation through space. He constructs his model by experiments of thoughts, use of known phaenomena and properties, by abstractions and transitions, to set up a most general concept. He constructs an argument against action at a distance using potential theory and makes plausible how a vacuum could be polarised, all within a few pages of his public lecture, all this in well awareness of a historical and philosophical tradition of more than two hundred years. Further inspection of the development of Hertz's concept of space after 1884 seems desirable.

19.7 References

Fölsing, Albrecht: *Heinrich Hertz. Eine Biographie.* Hamburg: Hoffmann und Campe 1997.

Hertz, Heinrich: *Die Constitution der Materie. Eine Vorlesung über die Grundlagen der Physik aus dem Jahre 1884.* Hrsg. v. Albrecht Fölsing. Berlin: Springer 1999.

Linhard, Frank: *Newtons spirits und der Leibnizsche Raum.* Hildesheim: Olms 2008, to appear.

Lützen, Jesper: *Mechanistic Images in Geometric Form: Heinrich Hertz's Principles of Mechanics.* Oxford: Oxford University Press 2005.

McGuire, J. E.: Force, Active Principles, and Newton's Invisible Realm. In: *Ambix* **XV**, p. 154–208.

More, Henry: *An Appendix to the foregoing Antidote against Atheism.* Cambridge 1662.

Newton, Sir Isaac: An Account of the Book entitled Commercium Epistolicum Collinii et Aliorum. In: *Philosophical Transactions* **29** (1715), p. 173–224.

Newton, Sir Isaac: *Opticks or A Treatise of the Reflections, Refractions, Inflections and Colours of Light.* London (2nd edition) 1717.

Newton, Sir Isaac: *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy.* Translated by I. B. Cohen and A. Whitman, with the assistance of J. Budenz. Berkeley, California: University of California Press 1999.

Snobelen, Stephen: God of gods, and Lord of lords: The Theology of Isaac Newton's General Scholium to the Principia. In: *Science in Theistic Contexts: Cognitive Dimensions.* Ed. by John Hedley Brooke, Margaret Osler and Jitse van der Meer. *Osiris* **16** (2001), p. 169–208.

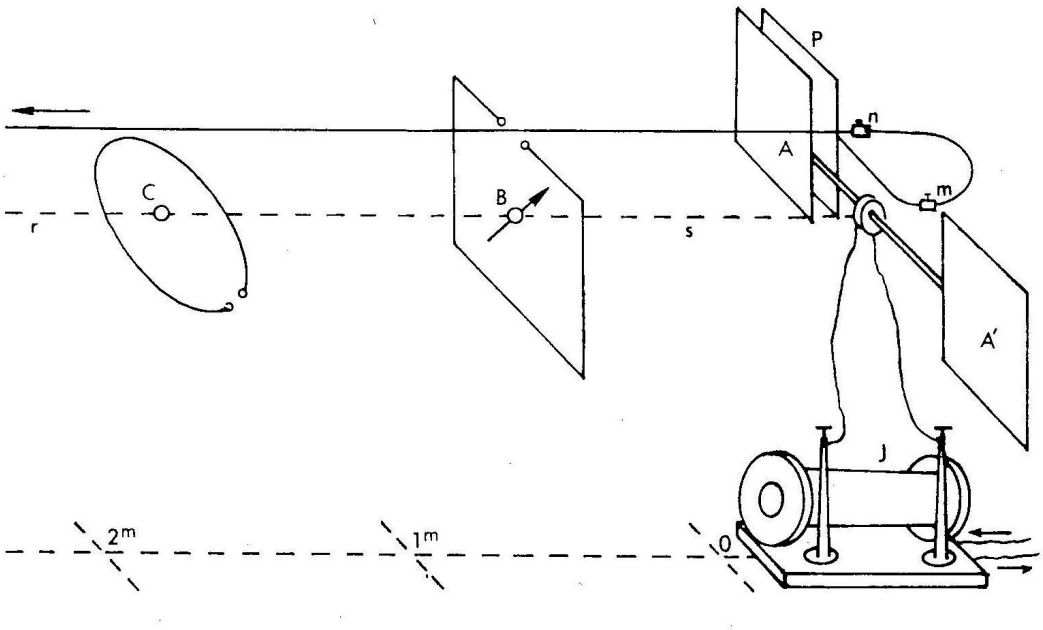


Figure 20.1:
Drawing of Hertz's apparatus for the observation of standing waves showing induction coil, dipole antenna, transmission line and rectangular and circular resonators used to observe loops and nodes along the line.

Bryant 1988.

Hertz's dilemma of the different velocities of transmission of electromagnetic waves in air and along wires. Why did he get the results he got?

James G. O'Hara (Hannover)

Abstract: Hertz' Dilemma über die unterschiedlichen Übertragungsgeschwindigkeiten von elektromagnetischen Wellen durch die Luft und entlang Drähten

In dem berühmten Experiment mit stehenden elektromagnetischen Wellen im Jahre 1888 war Hertz mit einem unerwarteten Ergebnis konfrontiert insofern als die Geschwindigkeiten dieser Wellen durch die Luft bzw. entlang Drähten unterschiedlich waren. Im Widerspruch zur Maxwellschen Theorie schien die Fortleitung der Wellen entlang Drähten langsamer zu sein als durch die Luft. Lediglich im Bereich der Mikrowellen waren die Geschwindigkeiten gleich. Hertz forderte andere Forscher auf, seine Versuche zu wiederholen, um seine Ergebnisse entweder zu bestätigen oder sie zu widerlegen. Zwei Physikergruppen nahmen diese Herausforderung an. In Dublin wiederholte und erweiterte eine Gruppe um George Francis Fitzgerald die Hertzschen Versuche. Genau wie Hertz stellten diese Physiker eine Verlangsamung der Wellen entlang Drähten fest. Dem gegenüber fanden die beiden Genfer Physiker Édouard Sarasin und Lucien De la Rive gleiche Geschwindigkeiten für die Fortleitung durch die Luft bzw. entlang Drähten. Hertz korrespondierte sowohl mit Fitzgerald als auch mit Sarasin und De la Rive. Er führte die Abweichung vom theoretischen Ergebnis bei seinen eigenen Versuchen auf die Umgebungsbedingungen seines Experiments zurück. In der historischen Betrachtung stellt sich die Frage, wodurch diese Resultate zustande kamen? Diese Frage scheint bisher nicht befriedigend beantwortet zu sein. Die Briefwechsel zwischen Hertz und den anderen Forschern sind in diesem Zusammenhang wichtige Textzeugen für eine mögliche Rekonstruktion der Umstände des Hertzschen Versuchs.

20.1 Introduction

In his celebrated 1888 experiment on standing waves at Karlsruhe Hertz demonstrated very rapid oscillations and resonance between primary and secondary circuits. Using apparatus (see Fig. 20.1; Bryant, 1988) devised and constructed by himself with the assistance of a technician he succeeded in showing the existence of such standing waves with the characteristic loops and nodes along a straight wire attached to the transmitter. He demonstrated interference of waves propagated in air and along a wire line and compared their phases. He was able to verify the finite velocity of propagation of the oscillations in air although, much to his surprise, this was in excess of that for wire transmission. The results were published in a paper "Ueber die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen" in early 1888. In a further series of experiments, completed in March 1888, Hertz produced standing waves in air and found the velocity of transmission in air was clearly in excess of that along wires; he reported the results in the paper "Ueber elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion". Here standing waves in air had been produced by the interference of directly transmitted waves with those reflected from the end wall of a lecture hall that had been provided with a zinc cladding. In the summer of 1888 he investigated wire transmission and demonstrated that oscillations could not penetrate metal layers of any thickness and that it was thus impossible to observe sparks inside a closed metal tube. He investigated transmission not only along a single wire but also in the intervening space between two wires or plates and in tubular spaces. These results were reported in the paper "Ueber die Fortleiting elektrischer Wellen durch Drähte" in 1889. In the autumn of 1888, while investigating the waves in the narrow intervening space between two wires, Hertz found that he could observe nodes at the ends of the wires using very small resonators or receivers (just a few centimetres in diameter). He subsequently developed a form of transmitter to operate with these small resonators and succeeded in observing wavelengths of as little as 24 cm. He repeated his experiments on propagation along wires using waves of about 30 cm wavelength, and found that the velocity of wire propagation was now almost equal to that in air. Having familiarized himself with the use of short waves he commenced a series of experiments with hollow parabolic metallic mirrors and large pitch prisms. This series of experiments on the reflection, refraction and polarization of the waves was reported in the paper "Ueber Strahlen elektrischer Kraft" in 1889. The complete series of experiments, originally published in the *Annalen der Physik und der Chemie* (*Wiedemanns Annalen*), was subsequently reprinted as *Untersuchungen ueber die Ausbreitung der Elektrischen Kraft* (Hertz, 1892) and, translated into English, as *Electric Waves Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity through Space* (Hertz, 1893).

In the wake of this remarkable series of experiments Hertz corresponded with other scientists and encouraged them to repeat the experiments and verify or refute his results, especially with regard to the observed retardation of the waves along wires. Two groups of physicists in particular joined him in this endeavour. In Dublin George Francis Fitzgerald and associates repeated and elaborated Hertz's experimental discoveries. For wire transmission their results were in good agreement with those of Hertz. On the

other hand Édouard Sarasin und and Lucien De la Rive of Geneva obtained the results required by the theory of James Clerk Maxwell.

20.2 The Hertz-Fitzgerald Correspondence

The correspondence between Fitzgerald and Hertz began in the summer of 1888 (O'Hara and Pricha, 1987; O'Hara, 2007). At that point Hertz's paper "Ueber die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen" had been published. Fitzgerald's learned of Hertz's success through a report of an announcement made by Hertz's former professor Hermann von Helmholtz; this led him to write the following lines in a letter dated 8 June 1888 from the School of Engineering, Trinity College, Dublin (DM HS 2886; O'Hara and Pricha, 1987, 23f.):

> *"I saw the other day that Prof. von Helmholtz announced your splendid verification of Maxwell's theory that electromagnetic disturbances are propagated with the velocity of light. ... Would it be too much to ask you to send me a copy of your paper describing how you have verified Maxwell's theory? I consider that no more important experiment has been made this century."*

Hertz replied in German from Karlsruhe on 11 June 1888, and was able to announce that he had in the meantime successfully produced standing waves in air and measured their wavelength. The troubling issue of the difference in the velocity of transmission in air and along wires arises here in the correspondence for the first time. Hertz's words translated into English are (RDS; O'Hara and Pricha, 1987, 25f.):

> *"I do find a difficulty and deviation from Maxwell's theory which I cannot explain at all. It appears in fact (if my experiments don't contain serious errors) that the propagation of electricity through wires has a very exact velocity, the same for copper, iron, mercury, carbon, etc., but different from the velocity in air, whereas according to Maxwell's theory both must be the velocity of light.*

Writing to Fitzgerald again on 23 September 1888 Hertz invited him to repeat the experiments. He writes (TCD MS 4233/2; O'Hara and Pricha, 1987, 26f.): *"Should you want yourself to undertake such experiments, or have them carried out by your assistants, I wish you every success."* He also sent Fitzgerald copies of his published papers as they appeared. When Fitzgerald wrote again on 14 January 1889 he could announce that he had in the meantime repeated Hertz's experiments together with his assistant Frederick T. Trouton. In this letter he also addressed the issue of the retardation of the waves observed in wire propagation (DM HS 2887; O'Hara and Pricha, 1987, 28f.):

> *"The only remaining difficulty I see is how the velocity of propagation near the wires is as different from when there is no wire core to the wave. I say near the wire because I don't think any large part of the energy is propagated by the wire. When an alternating current is sent by a wire and the alternations*

> *are fast enough I think we must be dealing with a wave propagated by the ether round the wire and I don't see why this wave should be propagated at a different rate from the waves in free space."*

In Fitzgerald's next letter to Hertz, dated 23 January 1889, he addressed the same difficulty once again and suggested an explanation of the phenomenon in terms of diffraction of the waves (DM HS 2888 & 2888/2; O'Hara and Pricha, 1987, 30-32):

> *"You say you do not know why the longer waves are so difficult to deal with: but it is because of diffraction? With very long waves you cannot get them to proceed in straight lines, they go round corners like sound and their energy is lost in all directions, while with short waves moderate sized mirrors, reflectors etc. suffice."*

Fitzgerald then proceeded to give a detailed explanation of this diffraction idea.

In a subsequent letter of 25 January 1889 Fitzgerald gave Hertz further information on the progress of Trouton's experiments (DM HS 2889; O'Hara and Pricha, 1987, 33). The results obtained by Fitzgerald and Trouton in repeating Hertz's experiments in the autumn and winter of 1888–1889 were published in *Nature* on 21 February 1889 in a paper by Trouton (Trouton, 1889a). The results were communicated in advance by Fitzgerald to Hertz in a letter written on 8 February 1889 (DM HS 2890; O'Hara and Pricha, 1987, 37f.). The experiments of Fitzgerald and Trouton were reported in further papers by Trouton in *Nature* on 22 August 1889 (Trouton, 1889b) and in the following year in the *Philosophical Magazine* (Trouton, 1890).

On Friday 21 March 1890 Fitzgerald delivered a popular discourse entitled "Electromagnetic radiation" at the Royal Institution in London in the course of which he reviewed the investigations of Hertz and those of Trouton. This lecture was reported in the scientific press and came to Hertz's attention; it was referred to in a letter to Sarasin, dated Bonn 22 June 1890. Hertz's words in English translation are (DM HS 3139):

> *"In a lecture about the execution of the same experiments by Fitzgerald and Trouton in Dublin, which I read about somewhere, I think in La Lumière électrique, they found, just as I did, that the waves in air have a wavelength of 5 metre compared to 9 metre in wires. Similar interference must have been involved."*

Fitzgerald and Hertz finally met in person in London at the end of November 1890, an event Hertz referred to in an account to his parents, written on 5 December 1890 (J. Hertz, 1977, 310f.).

The next correspondence between Hertz and Fitzgerald was in the summer of 1891 and concerns the work of a certain Walter Thorp, who was at that time carrying out experiments in Fitzgerald's laboratory on the propagation of waves along wires and gas pipes. In a letter dated 13 July 1891 Thorp gave Fitzgerald the following account of his investigations (RDS; O'Hara and Pricha, 1987, 43f.):

> *"Mr. Trouton would tell you that I found the thickness of the wire I have been using, made a material difference in the position of the nodes on the wire .... It appears probable that if I would use a wire sufficiently fine I should obtain results identical with those of Prof. Hertz. The ratio of 17 to 12 is approaching his ratio of 7 to 4. On the whole I consider it easier to work with a thin wire than with a thick one, i. e. the nodes were easier to find in the former case."*

On receiving this Fitzgerald wrote to Hertz giving him details of Thorp's work. Although the letter has not been found we can infer its contents from Hertz's reply from Bonn on 20 July 1891. Hertz writes in English (RDS; O'Hara and Pricha, 1987, 46f.):

> *"I am very much indebted to you for the notice you kindly gave me about Mr. Thorp's experiments. Permit me firstly to state my own present opinion about the matter in question. The only reason I have to believe that there may be any difference in the rate of propagation in air and wires is the result of my own experiments. The contrary was made probable to me, 1) by the theory 2) by the fact that for short waves I could not find any difference 3) that I could not detect any influence of the size or form of the section of the wires 4) by the experiment of Sarazin [sic] and De la Rive, who get the same velocities. I think the odds are entirely in favour of the latter view and though I do not think possible that I made so large a mistake in the observation; I think it possible, that special reasons [which] spring from the form and size of the room in which I worked deplaced [sic] the nodes so that I was deceived. I was confirmed in this view when during the last Easter Holydays [sic] I tried to repeat the experiments in my present lecturing room. This is a very beautiful room but [as] the elevated seats prevented me to choose [sic] a direction which was symmetrical to the walls, I was forced to make use of directions of propagation inclined to the walls. Now under these circumstances the nodes were so badly pronounced, that I could not make observations which could compete with the much better ones I made formerly, and that even I could not with certainty say if the observations agreed better with Sarazin's and de la Rive's or with my own. So I gave up and acquiesced with the idea that a hall 12 mtr square which is not absolutely empty is much to[o] small to make prooving [sic] experiments with waves 3-4 mtrs long and that the proove [sic] of the theory was better taken from short waves .... Now this all of course becomes very much changed if the results of Mr. Thorp proove [sic] to be exact. Again some mysterious difference would come in. So I think that very great interest is attached to this observation especially from my own personal standing point. So I think it will be necessary to repeat these experiments over and over again and make them quite sure. Permit me to make some observations .... I should advise Mr. Thorpe [sic] always to make use of two wires .... As the wave is conducted in the air between them, the conditions are much purer in this case than with one wire .... I myself never observed any difference of rate in different wires from*

the thickest to the thinnest, nor can I say anything that should look like an explanation."

Thorp however stuck to his idea that the section of the wire was the key to the problem. In a short account of his investigation, published in the same year, he explains that (Thorp, 1891) "These experiments were undertaken with the hope of throwing some light upon the results previously obtained by Professor Hertz .... He found the ratio of the velocity of propagation of electromagnetic waves in air to the velocity in copper wires to be as 75:47, or 1.6. His wave-length in air was 7.5 meters. Using much shorter waves (0.68 m) and wires of different diameters, the author obtained a ratio varying from 1.77 for very fine wires to nearly unity for thick wires .... The author thinks that these experiments show that Professor Hertz's results were due to the comparative thinness of the wire he used as judged by the length of his waves."

The concluding letter from Hertz to Fitzgerald on this topic, written on 12 December 1891, was a brief note requesting information about Thorp's investigations. Hertz writes (RDS; O'Hara and Pricha, 1987, 52):

"Half a year ago you wrote to me about Mr. Thorp, making experiments in your laboratory and finding traces of a different velocity of electromagnetic waves in air and in wires. Will you have the kindness to tell me quite in a few words, if it has proved to be an error, or if anything has come out of it? You may well think I am interested in this, and I shall be ever thankful to you. I have not experimented about the waves all this time."

20.3 Hertz's Correspondence with Sarasin and De la Rive

The collaboration between Hertz and Sarasin and De la Rive is documented in the letters Hertz wrote to the Genevan physicists copies of which are preserved at the Deutsches Museum in Munich. Writing to Sarasin from Bonn on 27 June 1889 Hertz outlined the circumstances of his Karlsruhe experiments. His words translated into English are (HS MS 3154):

"the apparatus with which I worked was not constructed by a skilled technician from good drawings in elegant fashion but rather put together partly by myself and partly by the technician of the Physical Cabinet in Karlsruhe in a rough and provisional manner out of pieces of wood, wires, sealing wax, and then continually altered. The discharge knobs for example were taken from another discharge device and were, when I left Karlsruhe, reattached to this device once more; a few items, which could easily be transported, I took with me but most remained in Karlsruhe.
The person therefore who would best be able to make copies of the the apparatus, and who would also be very willing to do so for a small charge, is the technician of the Physical Cabinet in Karlsruhe [J. (?)] Amann; however I believe he too would not really know how to make such. For, he couldn't

> *make it exactly as it was and, as soon as he would modify it, then it would no longer be the same apparatus ....*
> *Furthermore I have to admit that I do not believe that the problem can be the apparatus since this was too simple. I still believe that the problem is most likely the action of some subsidiary discharge or some other unknown cause, since I could not find an explanation for all irregularities and at the outset I had many unsuccessful trials. In the end it operated for whatever reason so continuously that I demonstrated the experiments twenty times without a hitch .... I very much regret that I can't be of greater assistance to you; I am convinced however that small variations of the apparatus would make little difference; I must have new apparatus made here myself and place no value on it being made exactly like the earlier one."*

In a letter to Sarasin, written on 16 September 1889, Hertz enquires about the principal difficulty of the difference of velocity observed in air and wire propagation (DM MS 3134):

> *"Have you any experience about whether the longer waves in air are propagated just as rapidly as in wires? I have discovered that the former are faster with waves which are 2–3 m long. According to theory both velocities ought to be the same and for short waves of 2–3 decimetres they are found to be the same. The more I think about the matter, the more I fear that something or other in my experiments could have deceived me. If my experiments are correct, that would be very remarkable and would suggest something new. I myself have not repeated the experiments because I was very certain of getting the same result again under the same circumstances with the same apparatus. But in the completely different rooms of other persons, with different apparatus, a certain confirmation or refutation might be expected. I could indeed have deceived myself; at the time I understood only very incompletely reflections from the walls etc. I would not advise the undertaking of the interference experiments; they are very tedious and indirect. But the production of standing waves in air is very easy and even entertaining provided one has a large room available. And if my experiments have yielded a false result, it would naturally be very much to my liking if this were to be discovered by someone of goodwill."*

Writing in French to De la Rive on 1 April 1890 Hertz elaborates on the same difficulties discussed in the letters to Sarasin (DM MS 3158). Writing to Sarasin in German from Bonn on 2 May 1890 he returns once again to the issue of the different velocities of propagation in air and along wires (DM MS 3138):

> *"As far now as the different wavelengths in air and in wires are concerned, it would indeed be more pleasant for me for the present if you had simply found my observations to be confirmed, but nature has to be respected and can't follow our desires. The facts of the matter are as follows: From the beginning I had expected to find the velocity in air and in the wires to be the*

same, since theory requires this. But my first experiments provided clearly a different result for the long waves of 3 m. I was very surprised but I had to take the phenomena just as I found them. After I found in addition that for short waves the velocity in air and in the wires was the same, that the velocity in all kinds of wire lines, even in the intervening space between two wires, was the same, my amazement grew and I confess that I also know no cause nor do I understand why the waves should move slower in the wires.
If therefore you can prove that the velocity is the same, you will come to the assistance of theory and remove an essential gap in the latter. But it would be very good if you succeeded at the same time in finding that, and why, under certain circumstances the matter seems different and the nodes appear further removed from each other. For you may believe me that I also observed very exactly, particularly as I suspected equality, and my conditions were indeed more favourable than yours as I had a space 13 m. I think therefore that some particular special circumstance adulterated my experiments and that yours provided purer results, but I do not know at present what my mistake can have been. To my earlier experiments by direct comparison I attach less weight, as the reflections from the back wall, which were unknown to me at the time, could have deceived me somewhat here. Nevertheless I find it hard to think that I did not find, using the right method, the simple result that I expected but rather produced with much trouble a more complicated and false one. Still that has to be accepted and a magnanimous person like yourself will certainly allow me extenuating circumstances; I believe that I now would carry out many experiments better than I could two years ago.
You are so kind to say that you wanted to come here to Bonn. It would be an exceptional pleasure for me to meet you in person and in that respect I would be particularly pleased about your visit. There is however no opportunity yet for work together since I have not yet had the requisite apparatus constructed; also I lack competent support like I had in Karlsruhe in the person of my technician there who could make it quickly for me. You will be surprised perhaps, but the amount of other work I found here, the necessity to treat my eyes with care and also a certain weariness of electric waves with which I was exclusively occupied for two years, and which once again won't let me go, make the matter understandable. In Karlsruhe towards the end I had to demonstrate the experiments with the mirrors again and again. Here everybody wanted to see them as well; if then I had had the apparatus made I would not have been able to do anything else. Now things are looking different but I have still not managed to do any work, except theoretical work. Therefore, if your itinerary brings you into the neighbourhood of Bonn, you will give me great pleasure if you do not pass by. However for a repetition of the experiments here together we have to wait."

In 1890 De la Rive published a paper on wire propagation in the *Archives des Sciences Physiques et Naturelles* of Geneva (De la Rive, 1890). In the next letter to Sarasin,

written on 22 June 1890, Hertz comments on these results. Thus he writes (DM MS 3139):

> *"As far as your investigation is concerned, I am coming to believe more and more that you are right and that the velocity in air and in the wires is the same. Everything speaks in favour of this and I would never have believed anything else myself if my experiments had not so clearly required a different interpretation. What the cause for this was I don't know. With the interference experiments, reflections from neighbouring objects, of which I had no understanding at the time, could have deceived me. With the reflection experiments from the wall I found, after brooding over it for a long time, a possible cause of the deception, namely that I had set up my plane mirror in a niche and the effect of the walls could have shifted the nodes somewhat. But the niche was at least 5–6 m wide and I can hardly imagine this. In the meantime it is less a question of why I erred than how the matter is in reality, and then I can feel pleased if this ugly contradiction to the theory disappears and harmony is completely restored and everyone will be grateful to you for this. I will contradict you least of all, but rather assent, provided later experiments of mine don't turn out like the earlier ones."*

Writing again on 12 April 1891 Hertz explains how his latest experiments at Easter 1891 – also referred to in his letter to Fitgerald of 20 July 1891 – had developed (DM MS 3141):

> *"I had intended in the Easter holidays which are now ending to repeat the experiments on the reflection of long waves from a conducting wall in order to explain if possible the different results obtained by you and by myself.*
> *I had conceived the following theory in advance .... Since the primary conductor – I said to myself – isn't positioned in free space but rather near a reflecting wall, two wave systems will strike the secondary conductor, one directly and the other reflected from the wall. If the primary conductor is exactly $\frac{1}{4}$ wavelength removed from the wall then these systems will dissolve into a single system of double amplitude. If the distance were another, they would dissolve into such a system of the same wavelength but of reduced amplitude, provided the movement were a damped sine movement. But since the movement is very heavily damped, they could indeed also dissolve into a form, which is more similar to a wave of greater wavelength .... This circumstance could have been operative equally in both of my experimental methods.*
> *Now, in order to test this theory I took two large zinc sheets 4 m high and 2 mtr wide and placed them opposite each other .... I expected that it would now be easy for me to obtain either my earlier results or yours, by varying the distance of the primary conductor from the wall. This did not happen but rather something different which I hadn't expected. I was namely completely unable in my present lecture theatre here to replicate the effects with the same certainty and clarity as in the Karlsruhe lecture theatre. When I used the*

width of the hall, I was only able to place the screens 11 mtr apart, and this was apparently too little; I was unable to make an exact determination of the wavelength. When I used the length of the hall I had however 15 mtr, but was then no longer able to position the second zinc screen, since the benches rose very steeply here, and without this I could not obtain such clear results as in Karlsruhe .... I have therefore modified the theory somewhat for my purposes, namely thus: with the long waves of 3 m no very regular wave systems could be formed in the limited space of a moderately-sized room, as I assumed in my earlier work. The entire space of the room falls into an oscillation, which is the analogue of a cubic pipe, and surfaces of least action or nodal surfaces are formed. However only under certain favorable values of the dimensions of the entire room do these nodal surfaces become very sharp and precise, and one cannot say that the separation of two nodal surfaces is then exactly the length of the plane waves in free space. In exactly the same way one cannot assert this for the oscillation in a cubic pipe.

In this way then my experimental results could be explained without having to draw the conclusions which I drew at that time. Those experiments yielded such very clear results that I find it impossible to compare them with my present results, also taking into account the diminished practice which I now have.

I would be eager to hear if you consider this explanation sufficient. Likewise I would be eager to learn still more about your own experiments with the larger wavelengths. I possess only your short communication from the session of 1 May 1890. Since you also used only 9 mtr separation at that time, I would be surprised if you had observed more than two reversals with the circle of 75 cm diameter .... this I never achieved at all namely with separations under 12 m.

My personal conviction is now the following, that one should best draw conclusions from the experiments with short waves, and that for the experiments with long waves one would need, in order to be certain, much larger rooms than hitherto used, or at least rooms from which all disturbing benches etc. had been removed and which are at least 20 m long, 10 m wide and 6 mtr high. That the effects observed in the lecture hall in Karlsruhe were so clear, would then to a certain extent be an accident, just as one hall has good acoustic properties and another not .... I had hoped that these experiments would progress very beautifully and that I could then invite you here, but unfortunately these hopes have not been fulfilled like so many fine hopes."

Hertz met Sarasin and De la Rive in the spring of 1892 during a visit to Geneva. A letter to Sarasin on 22 March 1892 contains an inquiry about his intended visit (HS MS 3143). A letter of 28 March (HS MS 3144) contains an announcement of his visit and in a letter of 18 April (HS MS 3145) he reflects on his visit having returned to Bonn. The final letter Hertz wrote to Sarasin is dated 19 May 1893 and is in reply to a letter of 25 April 1893. Sarasin's and De la Rive's paper "Sur l'égalité des vitesses de

propagation de l'ondulation electrique dans l'air et le long de fils conducteurs, vérifiée par l'emploi d'une grande surface métallique" had appeared in *Comptes Rendu*s and seemed to provide a resolution of the central problem (Sarasin and De la Rive, 1892–1893); it would be followed by a second extended paper in the *Archives des Sciences Physiques et Naturelles* (Sarasin and De la Rive, 1893). Hertz accordingly expresses his satisfaction with the results obtained. Thus he writes (HS MS 3149):

> *"Above all I have not expressed sufficiently the joy I have derived from these great experiments of yours. I always felt that these should have been carried out in this fashion; that this has happened, and that you in particular have the glory for it, is a source of great satisfaction for me. I had however to the end entertained the secret hope that my results might indeed be verified and for this reason I preferred that not I but another should carry out the task. This hope has now been dashed, but the principal matter is indeed that now every doubt has been removed, and I hope that the picture of your large-scale arrangement will be preserved as a permanent monument in science. Now for the first time, in my opinion, is the matter complete and settled.*
> *After the question has been definitively decided beyond appeal, it interests me relatively little what the source of my error was. It appears to me to be a question of very little importance which could only be entertained as long as still perhaps a grain of truth might be supposed in my results. On the whole I consider that the particular form of the room is to be seen as the cause. Moreover it would indeed be worth the trouble of once again repeating the experiments about interference with wire waves; this I believe hasn't been done by anyone; probably however the matter here is more complex than I thought at the time. Now I think very little about all these things, since I am very busy with theoretical work in the area of mechanics ...."*

The picture referred to by Hertz is probably one of the two photographs preserved at the Deutsches Museum which show the experimental arrangement used by the Genevan physicists. The oscillator and the transmission line are mounted on timber trestles in a large hall. The equipment is covered with timber and fabric cladding presumably to darken the space near the transmission line. One photograph (see Fig. 20.2) contains greetings (HS MS 3163) and a dedication to Hertz. The other (HS MS 3162) shows Sarasin in front of the elevated equipment holding a resonator (see Fig. 20.3). The photographs were probably taken in the summer of 1892; Hertz expresses thanks for photographs received in a letter to Sarasin dated 18 September 1892 (HS MS 3148).

20.4 Conclusions

In the popular perception of things Hertz's investigation of electromagnetic-wave radiation laid the foundation for the development of wireless broadcasting and of wireless communications. In fact his investigations were also the starting point for wire and cable technologies. At the heart of his experiment on standing waves was a single-wire

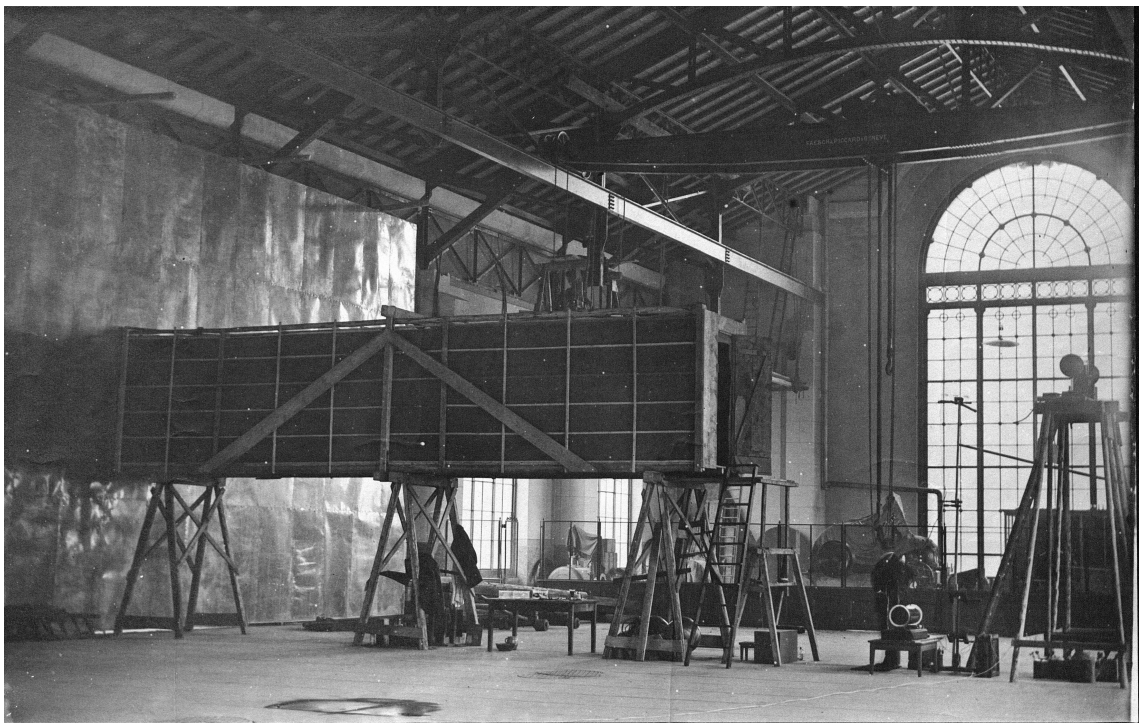


Figure 20.2:
Sarasin's experimental arrangement
Deutsches Museum, Archiv (MS 3263)

(with ground return) or two-wire transmission line. Such transmission lines were later to have immense importance in electrical engineering and in telecommunications. The velocity of transmission along such a two-wire open line depends on the permittivity and permeability of free space, but not frequency, and is approximately $3 \times 10^8\,\mathrm{m/s}$. The velocity is likewise independent of the distance between the wires and of the diameter of the wires. Other parameters of the transmission line such as resistance, inductance and capacitance depend on these values but not the velocity of propagation. Thus the dependence of velocity on the thickness of the wire, claimed by Thorp, was most probably spurious. Two publications on the occasion of the centenary of Hertz's work in 1988 have stressed the significance of the transmission line in his experiments. In *Heinrich Hertz. The Beginning of Microwaves* – the catalog of an IEEE Exhibition in New York – John H. Bryant has analysed the line in the experiment as the "wire-over-ground-plane transmission line" (Bryant, 1988). On the other hand Helmut Friedburg, in an article entitled "Die Karlsruher Experimente von Heinrich Hertz" published in *Fridericiana: Zeitschrift der Universität Karlsruhe*, has pointed out that Hertz did not consider the ground-return connection and that he thought the waves were transmitted along one wire only (Friedburg, 1988). Thus he did not have the later conception of a transmission line. Hertz's experiment with a single wire was for a twentieth-century physicist "physically undefined"; furthermore influences in the neighborhood had not been adequately

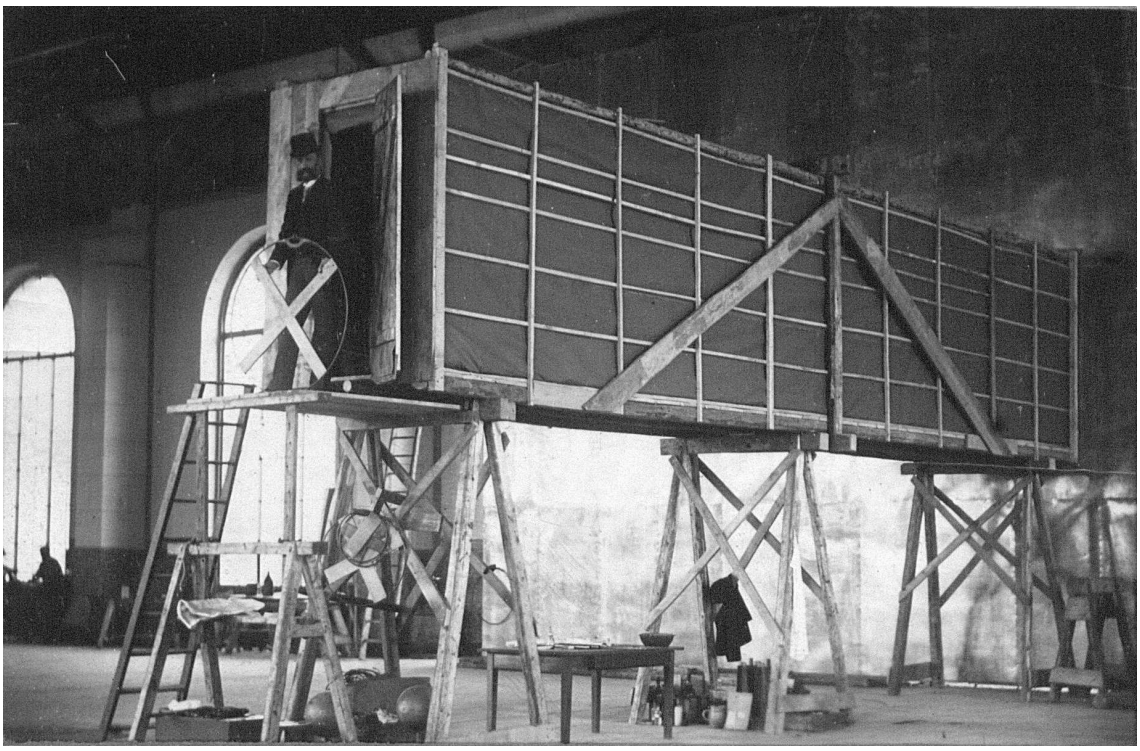


Figure 20.3:
Sarasin in front of the elevated equipment
holding a resonator

Deutsches Museum, Archiv (MS 3262)

eliminated. Friedburg also discusses the issue of the retardation of the waves along wires. He points out that nobody was subsequently able to account exactly and in detail for the unexpected results Hertz got.

That the issue of the observed retardation of the waves was more than a peripheral technical detail is evident from the attention paid to the matter in the Introduction, the "Einleitende Uebersicht: A. Zu den Versuchen" to the volume of Hertz's electrical papers *Untersuchungen ueber die Ausbreitung der Elektrischen Kraft* (Hertz, 1892; "Vorwort" dated December 1891), and of course in his correspondence presented here. At stake was the integrity of Maxwell's theory or of his own experimental method. He attributed the retardation to the ambient conditions of his experiment. He looked to the other scientists to repeat his experiment in other environments and, at Easter 1691, he made a final but unsuccessful attempt himself to repeat his experiments in his lecture theatre in Bonn. In Dublin Fitzgerald, Trouton, and Thorp, repeated the experiment and also found the apparent retardation in wire transmission. On the other hand the experiments of Sarasin and De la Rive consistently indicated equality in the rates of transmission. Hertz long remained sceptical because these experiments had been carried out in a smaller room than his own. When, however, the experiments of Sarasin and De la Rive with longer

waves carried out in a large hall appeared to confirm equal rates of transmission the matter seemed to have reached a conclusion and the horrible or "ugly contradiction to the theory" (in German "dieser hässliche Gegensatz gegen die Theorie"), referred to in the letter of 22 June 1890, had been removed. Nevertheless Hertz's letters continue to be tinged with a note of regret that he had been unable to account for the anomalies of his own experimental arrangement.

In conclusion it seems appropriate to return to the question posed in the title of this contribution: Why did Hertz get the results he got? Here we might of course also ask, why did Fitzgerald and his associates get the results they got? Why did Sarasin and De La Rive get the results they got? Echoing Helmut Friedburg's sentiments it can be said that nobody has ever accounted in detail for the results Hertz and these other physicists got. One approach to answering these questions might be to reconstruct the the apparatus and to repeat the experiments under conditions similar to those prevailing at Karlsruhe in 1888. To know the circumstances of the experiments however we need to study the published papers, the manuscript papers and the correspondence of Hertz. In this context it is fair to state that the letters of Hertz and his correspondents presented here are an important historical source in reconstructing the exact circumstances of his experiments.

20.5 References

20.5.1 a) Manuscript Sources

DM: Deutsches Museum, Archiv.

RDS: Royal Dublin Society. Fitzgerald Collection (manuscripts not numbered).

TCD: Trinity College Dublin, Library (Manuscripts Room).

20.5.2 b) Printed Sources

Bryant, John H. (1988). *Heinrich Hertz. The Beginning of Microwaves: discovery of electromagnetic waves and opening of the electromagnetic spectrum by Heinrich Hertz in the years 1886–1892.* Exhibition Catalog. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); Piscataway, NJ: IEEE Service Center, Single Publication Sales Dept.

De la Rive, Lucien (1890): Sur la theorie des interférences de l'onde électrique propagée dans un fil conducteur et du résonateur. In: *Archives des Sciences Physiques et Naturelles* **23**, 391–401, p. 547–549.

Friedburg, Helmut (1988): Die Karlsruher Experimente von Heinrich Hertz. In: *Fridericiana: Zeitschrift der Universität Karlsruhe* **41**, p. 39–57.

Hertz, Heinrich (1892): *Untersuchungen ueber die Ausbreitung der Elektrischen Kraft.* Leipzig: Johann Ambrosius Barth.

Hertz, Heinrich (1893): *Electric Waves Being Researches on the Propagation of Electric Action with Finite Velocity through Space.* London: Macmillan and Company.

Hertz, Johanna (arranged) (1977): *Erinnerungen. Briefe. Tagebücher; Memoires. Letters. Diaries.* Second enlarged edition prepared by Mathilde Hertz and Charles Susskind. Weinheim: Physik Verlag; San Francisco: San Francisco Press.

O'Hara, James Gabriel and Pricha, Willibald (1987): *Hertz and the Maxwellians.* London: Peter Peregrinus Ltd.

O'Hara, James Gabriel (2007): A 'Horrible Conflict with Theory' in Heinrich Hertz's Experiments on Electromagnetic Waves. In: *European Review* **15** (4), p. 545–559.

Sarasin, Édouard and Lucien De la Rive (1892–1893): Sur l'égalité des vitesses de propagation de l'ondulation electrique dans l'air et le long de fils conducteurs, vérifiée par l'emploi d'une grande surface métallique. In: *Comptes Rendus* **115**, cols. 1277–1280; 116, col. 32.

Sarasin, Édouard and Lucien De la Rive (1893): Égalité des vitesses de propagation dans l'air et le long des fils conducteurs. In: *Archives des Sciences Physiques et Naturelles* **29**, p. 358–393, p. 441–470.

Thorp, Walter (1891): On the propagation of electromagnetic waves in wires. In: *British Association Report* **41**, p. 562–563.

Trouton, Frederick Thomas (1889a): Repetition of Hertz's experiments, and the determination of the direction of the vibration of light. In: *Nature* **39**, p. 391–393.

Trouton, Frederick Thomas (1889b): Experiments on electro-magnetic radiation, including some on the phase of secondary waves. In: *Nature* **40**, p. 398–400.

Trouton, Frederick Thomas (1890): On the acceleration of secondary electromagnetic waves. In: *Philosophical Magazine* **29**, p. 268–276 and Pl. IV.

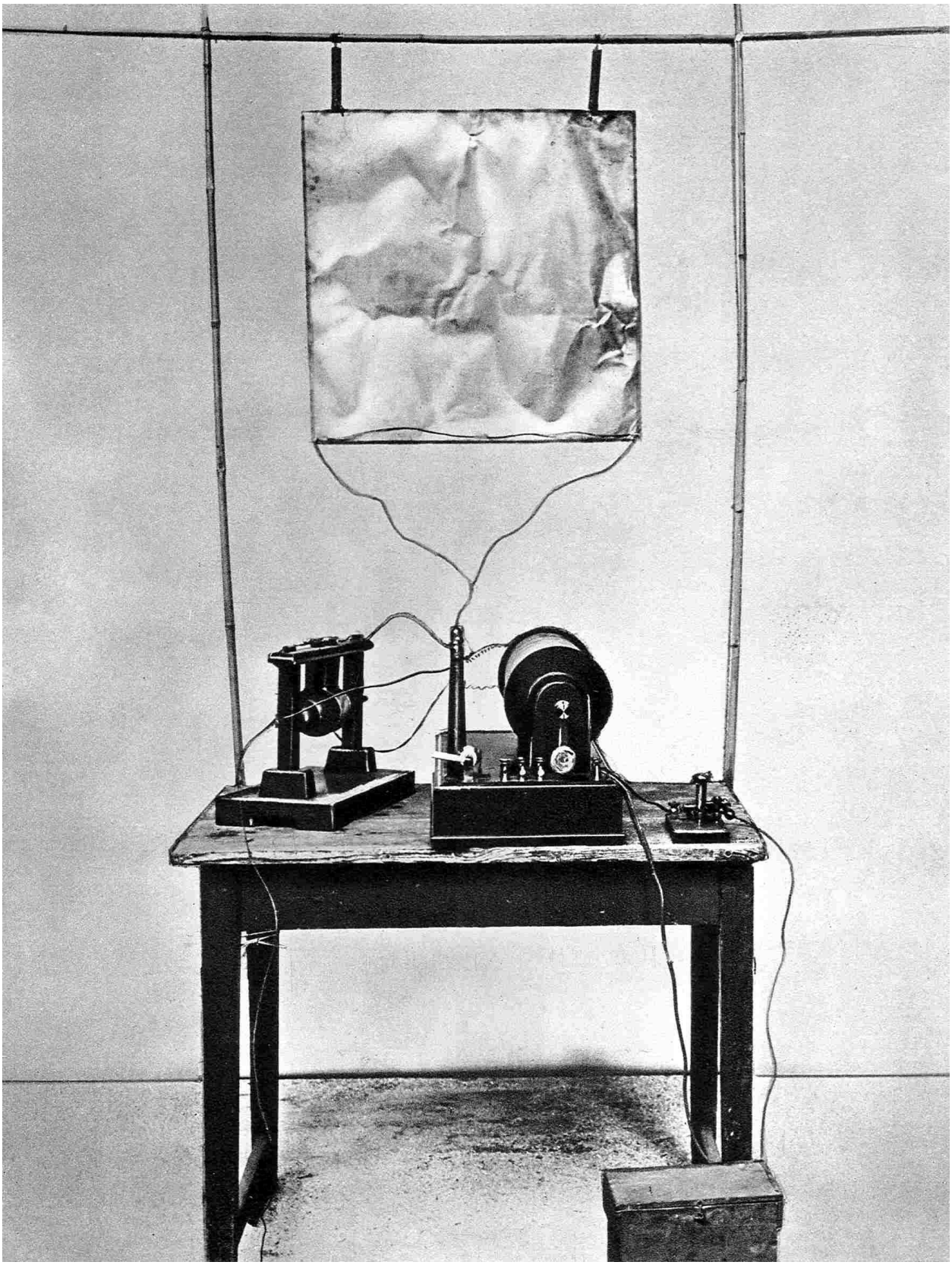


Figure 20.4:
Marconi apparatus

THE BIRTH OF RADIO – WIRELESS TELEGRAPHY

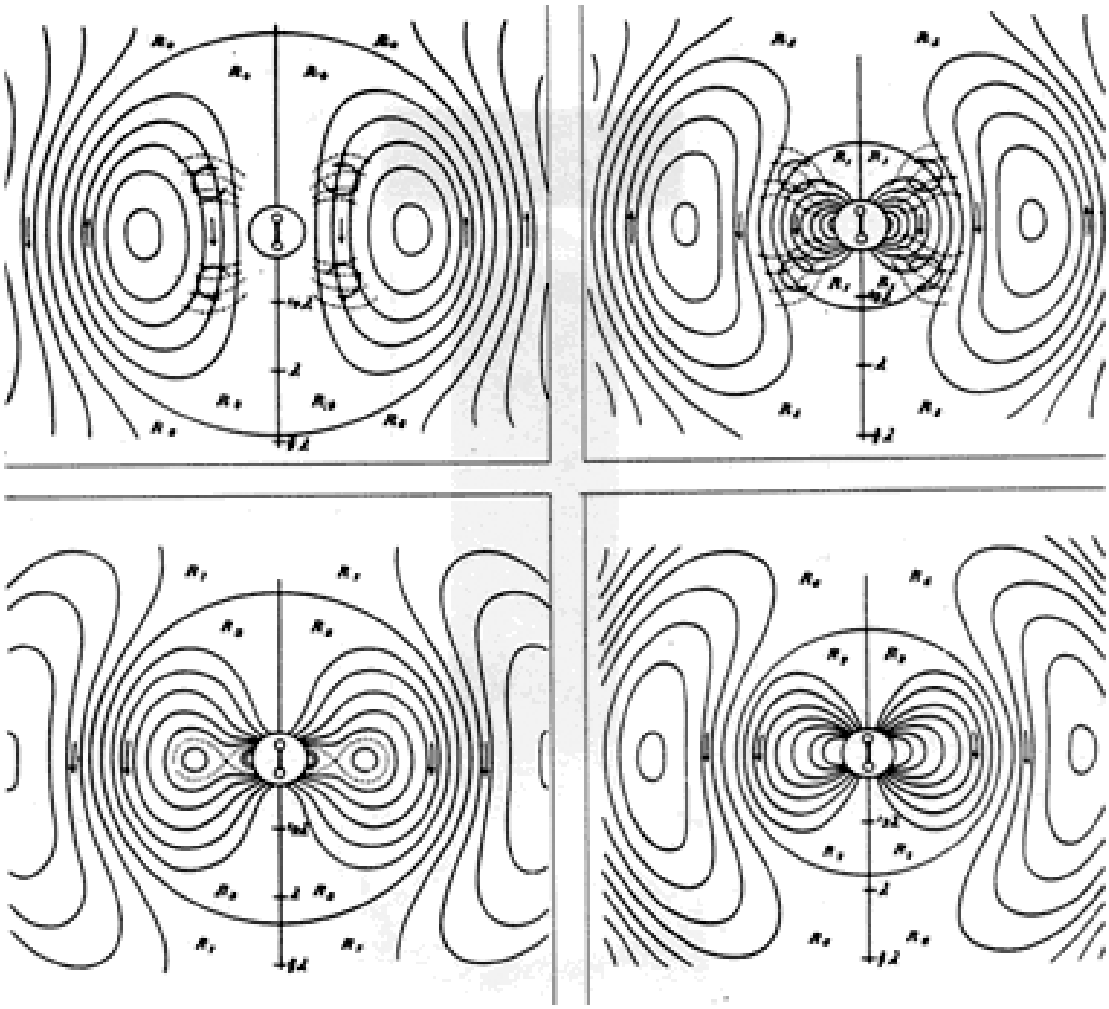


Abbildung 21.1:
Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Raum
Vier Phasen der Sendertätigkeit, berechnet und gezeichnet von Heinrich Hertz.
Hertz verwendet die von Faraday entwickelten theoretischen Vorstellungen,
die elektrischen Magnetkraftlinien (theoretisches Schema).
Eine solche Abbildung nannte Heinrich Hertz
„ein anschauliches Bild von der Verteilung der Kraftlinien“.

Hertz, Heinrich: Über Strahlen elektrischer Kraft.
In: *Annalen der Physik und Chemie*, Neue Folge, Band XXXVI, No. 4, Fig. 1–4.

Die Entstehung der Radiotechnik als eine technikwissenschaftliche Disziplin – die Rolle von Ferdinand Braun

Vitaly G. Gorokhov (Moscow, Russia – Karlsruhe)

Abstract: The Genesis of the Radio Engineering as a Scientific and Engineering Discipline (The Role of Ferdinand Braun)

The subject of analysis in this article will be radio engineering as a special scientific discipline (as distinct from the engineering industry). The technical sciences are characterized by a development of special theoretical principles, creation of specific ideal objects, introduction of new scientific laws, development of an original body of mathematics and concepts. Today, the technical sciences meet the main criteria of separating a scientific discipline and may be considered as the peculiar scientific and technical disciplines along with natural-science ones. At the same time, it cannot be forgotten that the technical sciences are clearly oriented to the solution of engineering problems and have a definite specific. One of the basic aims of technical sciences is a development of practical and methodological recommendations on applying the obtained scientific and technical knowledge in the engineering practice. The specific of technical science is determined by the necessity of use of its results not so much for explaining the natural processes as for designing engineering objects.

Marconi's system was not entirely new: he used Hertz's vibrator which had been improved by Righi, while the receiving system had been developed by Lodge, and the general arrangement was proposed by Popov. The problem was to bring an existing invention to the stage of industrial manufacture and practical application. Marconi „was translating scientific discoveries already made by others into useful and potentially profitable devices" But nobody knows in this time what the physical processes flow in the Marconi's antenna. Ferdinand Braun was the first, who really these problems investigate and understood.

In Russia was difficult at that time to set up this type of production because of the dominant position of foreign firms and the government's lack of interest. This situation is changed in the soviet time. For example, the main task of the Central Radio-Engineering Laboratory (CRL) in Nizhniy Novgorod (later in Leningrad) was to carry out scientific and engineering research on a class of engineering problems. The laboratory's intermediate but important status between theoretical investigations in applied science and practical engineering research. The example of

the Nizhniy Novgorod Radio Laboratory, founded in 1918, shows that theoretical research and instruction were combined with design engineering und even production during the first years of development of radio engineering. New discoveries were immediately embodied in inventions and were then quickly moved into production.

Wireless telegraphy was from 1895 until 1905 empiric. Ferdinand Braun would like to organize together with electric firms an engineering faculty in the University of Strasbourg and develop a program for modernisation of physics as engineering physics. But it was impossible in his time. This idea developed in Russia his students and later assistants L. Mandelstam and N. Papalexi, . They were after 1914 in Russia and developed radio engineering in the USSR. They were working together from 1923 in the scientific department of the Central Radio-Engineering Laboratory of the Electro-technical Trust of the Low-Current Plants in Leningrad and later in the Physical Institute of the Russian Academy of Sciences.

21.1 Einleitung

Es gibt zwei Hauptwege von der Wissenschaft zur Technik (idealtypisch):

1. *von der Praxis zur Theorie* am Beispiel der Theorie des Mechanismus;[1]
2. *von der Theorie zur Praxis* am Beispiel der technischen Folgen der Hertzschen Entdeckung (M. Faraday – J. C. Maxwell – H. Hertz *„Elektrodynamik“*; *„Kohärer“* von E. Branly, A. Righi & O. Lodge; A. Popow – *Wissenschaftler-Ingenieur* und G. Marconi – *Ingenieur-Manager*: Erfindung und Vermarktung der neuen Technik; A. Slaby *„ingenieurmäßig ausgereifte Produkte für Telegraphie ohne Draht“*; F. Braun – praxisorientierte Physiker und Technikforscher *„Braunsche Röhre & Kristall-Detektor“*).

Dieser Artikel wird sich mit dem zweiten Fall beschäftigen.

Wir untersuchen im Weiteren, wie sich aus der Elektrodynamik eine derartige Struktur der radiotechnischen Theorie[2] im Ergebnis einer Modifizierung ihrer theoretischen Ausgangsschemata formierte, die insbesondere in den Arbeiten von Hertz entwickelt worden waren. (Für die Beschreibung der Struktur einer physikalischen Theorie kann im Prinzip die gleiche dreigliedrige Struktur angewandt werden: „mathematische Beschreibung – physikalischer Prozess – Strukturschema des Experiments“).[3] Da es zum Zeitpunkt der Herausbildung der theoretischen Grundlagen der Radiotechnik noch keinen entwickelten

[1] Siehe: Gorokhov 2002.

[2] Wir betrachten „Radiotechnik“ = „Hochfrequenztechnik“ = „Funktechnik“ als eine technikwissenschaftliche Disziplin. „Hochspannungs- und Stromrichtertechnik als Technikwissenschaftsdisziplinen, die an technischen Hochschulen und in Labors und auf Versuchsfeldern der Elektroindustrie betrieben wurden, waren bislang Thema weniger technikwissenschaftlicher Firmenschriften, jedoch nicht wissenschaftshistorischer Forschungen selbst“ (Maier 1993, S. 10).

[3] Stepin 2005.

Industriezweig gab und sie sich parallel zur Entwicklung theoretischer Schemata formierte, kann im gegeben Fall die Theorie der Radiotechnik im Sinne einer „reinen“ Modifikation der theoretischen Schemata der physikalischen Basistheorie (Elektrodynamik) als geeignetes idealisiertes Objekt für die wissenschaftshistorische und methodologische Analyse der Genesis theoretischer Schemata in der Technikwissenschaft (idealtypisch) dienen.

21.2 Heinrich Hertz – der experimentelle Beweis der Maxwellschen Theorie mit den technischen Folgen

Das der Optik und Akustik entlehnte Schema des physikalischen Prozesses der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen ermöglichte es Hertz, das entsprechende mathematische Modell zu verwenden – die geometrische Darstellung der stehenden Welle, die es erlaubt, ihre Knotenpunkte, Schwingungsbäuche, Periode, Phase und Länge genau zu bestimmen. In Übereinstimmung mit diesem Modell führt er auch die notwendigen experimentellen Messungen durch (z. B. die Messung von Phase und Amplitude der elektromagnetischen Schwingungen bei Reflexion). Gleichzeitig verwendet Hertz die von Faraday entwickelten theoretischen Vorstellungen – die elektrischen und Magnetkraftlinien. So führt er z. B. bei der Analyse der Kraftverteilung für verschiedene Zeitmomente Abbildungen des Prozesses der so genannten „Abschnürung“ der Kraftlinien beim Vibrator (Schwingkreis) an (der sich später als überaus wichtig für die Radiotechnik erwies). Eine solche Abbildung nannte Hertz ein „anschauliches Bild der Verteilung von Kraftlinien“ (Abb. 21.1).

Hertz entwickelte die Strukturschemata und den entsprechenden konzeptuellen Apparat, nämlich solche Begriffe wie Vibrator und Resonator. Die genaue Beschreibung der Konstruktion von Versuchsapparaturen (z. B. des Materials, aus dem die Spiegel hergestellt waren, ihrer Form, Maße usw.) geht bei ihm einher mit der verallgemeinerten Beschreibung experimentell zu messender Situationen, die im Grunde ein Vorbild des künftigen elektrischen Schaltplanes von Radioempfangsanlagen und Radioübertragungsanlagen ist (Abb. 21.2).[4]

So änderte Hertz bei der Untersuchung des Resonanzprozesses verschiedene Parameter des primären und sekundären Stromkreises mit Induktionsspule, Ableiter, Kondensator usw. Dabei wurden die Funkenlänge und der Abstand zwischen den Stromkreisen ausgemessen und auf Grundlage dieser Messungen die Resonanzkurven aufgezeichnet und die entsprechenden Berechungen durchgeführt. Bei der Ausarbeitung neuer experimenteller Ausrüstung betätigt er sich vom Wesen der Sache her als Ingenieur, ohne jedoch irgendeine technische Anwendung seiner experimentellen Apparaturen in Betracht zu ziehen. Sowohl der mathematische Apparat als auch die Versuche dienen ihm nur als Mittel zur Voraussage und Erklärung des Ablaufs des physikalischen Prozesses nämlich der Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Raum. Jedoch erlangte dank seiner Arbeiten die Elektrodynamik jene Gestalt, die es ermöglichte, dass sich eine neue Sphäre der Ingenieurtätigkeit und die dieser entsprechenden technischen Theorie von ihr abhob.

[4] Hertz (1889), N^0 4, Fig. 1–10.

Vibrator und Resonator:

Die Variierung der relativen Position der Anschlussstelle zum Funkenmikrometer, der zunächst mit Draht und danach ohne Draht mit dem Vibrator verbunden ist, von H. Hertz, die ihm zur Entdeckung der drahtlosen Übertragung der elektromagnetischen Wellen führte.

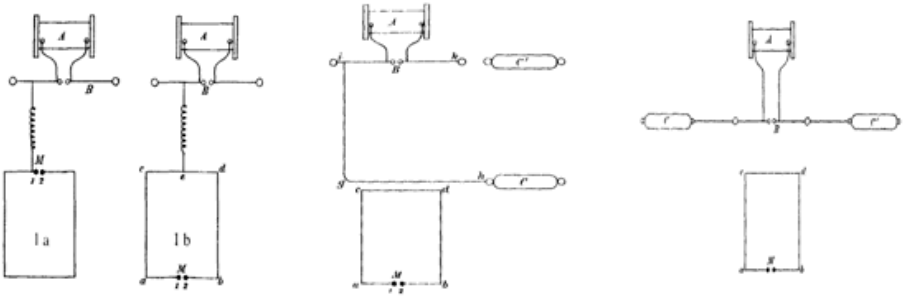


Bild 1

Versuchsanordnung mit Induktorium (A), Entladungsstrecke (B) und Funkenmikrometer (M); die Anschlussstelle (e) des Drahtrechtecks (*abcd*) kann u. a. direkt neben (Bild Ia) oder genau gegenüber (Bild Ib) dem Mikrometer (M) liegen

Bild 2

Versuchsanordnung mit Induktorium (A), primärer Entladungsstrecke (B), zwei abnehmbaren Kapazitäten (C und C'), Draht-Rechteck (*abcd*) und sekundärer Funkenstrecke (M)

Bild 3

Versuchsanordnungnach Bild 2, aber mit geradlinigern Primär-Leiter (Vibrator) und sekundärer Funkenstrecke (Resonator)

Gerhard-Multhaupt R. Die experimentelle Bestätigung der Maxwellschen Theorie durch Hertz in den Jahren 1886 bis 1889. In: Heinrich Hertz: Festschrift anlässlich die Erforschung der elektromagnetischen Wellen vor 100 Jahre. Berlin: Heinrich-Hertz-Institut, 1988, S. 44, 46

Abbildung 21.2:
Vibrator und Resonator

Die Ausrüstung für seine Versuche hat Hertz teilweise von seinem Vorgänger in Karlsruhe, Ferdinand Braun, geerbt:

F. Braun modernisierte in Karlsruhe, wo er als Professor für Elektrotechnik in Jahre 1883-1885 arbeitete, die Lehre auf den Gebieten Elektrizität und Elektrotechnik. Schon „in seinen frühen Untersuchungen, die lange vor der drahtlosen Telegraphie entstanden sind, finden sich die Keime für wichtige Entwicklungen dieses Gebietes ... Er besaß ein außerordentliches Geschick und große Erfindungsgabe im Schaffen von Hilfsmitteln für das Experiment. Auf diese Weise entstanden Messanordnungen und Apparate, die großes, selbständiges Interesse besitzen und Eingang in die physikalische Untersuchungs- und Messtechnik gefunden haben.“[5]

In Karlsruhe hatte Hertz „u. a. die Aufgabe, für Ingenieurstudenten eine Experimentalvorlesung zu halten. Dafür stand eine Sammlung physikalischer Geräte zur Verfügung, die er auch zu Forschungszwecken benutzen konnte“.[6] Hertz schreibt später: „In der physikalischen Sammlung der Technischen Hochschule zu Karlsruhe, wo ich diese Versuche

[5] Mandelstam / Papalexi (1928); siehe: `http://www.oneillselectronicmuseum.com/germanfiles/page8b.html`.
[6] Friedburg (1988), S. 9.

ausführte, hatte ich zu Vorlesungszwecken ein Paar sogenannter Riess'scher oder Knochenhauerscher Spiralen vorgefunden und benutzt. Es hatte mich überrascht, dass es nicht nötig war, große Batterien durch die eine Spirale zu entladen, um in der andern Funken zu erhalten, dass vielmehr hierzu auch kleine Leydener Flaschen genügten, ja der Schlag eines kleinen Inductionsapparats, sobald nur die Entladung eine Funkenstrecke zu überspringen hatte. Indem ich die Verhältnisse abänderte, fiel mir die Erscheinung der Nebenfunken auf, von welcher die folgende Untersuchung ausgeht. Anfangs hielt ich die elektrischen Bewegungen für zu stürmisch und unregelmäßig, um sie weiter benutzen zu können; als ich aber das Auftreten des Indifferenzpunktes in der Mitte einer Nebenleitung und damit eine klare und reine Erscheinung gefunden hatte, war ich überzeugt, dass nunmehr die Aufgabe der Berliner Akademie löslich sein würde, und weiter ging zur Zeit mein Ehrgeiz nicht. Bestärkt wurde meine Überzeugung natürlich, als ich fand, dass ich regelmäßige Schwingungen vor mir hatte ...“[7]

Im einem Brief an Professor E. Sarasin [8] schrieb H. Hertz 1889 schon aus Bonn:

> *„Denn die Apparate, mit welchen ich arbeitete sind gar nicht von einem geschickten Mechaniker nach guten Zeichnungen in eleganter Weise ausgeführt, sondern theils von mir selber, theils von dem Mechaniker des physikalischen Cabinets in Karlsruhe roher und provisorische Weise aus Holzstückchen, Drähten, Siegellack zusammengeklebt worden und dann beständig abgeändert worden. Die Polkugeln zum Beispiel waren von einem anderen Entladungsapparat genommen und sind, als ich von Karlsruhe weg ging, wieder an diesen Apparat gefügt worden, einige wenige Stücke, welche leicht transportabel waren, habe ich hierher mitgenommen, die meisten sind in Karlsruhe geblieben.“*
> Der Mechaniker aus Karlsruhe, meint Hertz, konnte in Prinzip Kopien der Apparate anfertigen, aber *„er wird auch nicht recht wissen wie er es machen soll. Denn genau so, wie die Apparate waren, kann er es nicht machen.“*[9]

Durch die Forschungen von Hertz wurde bewiesen, dass elektromagnetische Wellen (ähnlich den Lichtwellen) sich im nicht leitenden Medium (dem Äther) ausbreiten; dass sie eine mit den optischen Erscheinungen gemeinsame physikalische Natur haben; dass sie sich, wie auch das Licht, mit endlicher Geschwindigkeit ausbreiten; dass im freien Raum die Intensität der elektromagnetischen Schwingungen umgekehrt proportional zur ersten Potenz der Entfernung vom Sender abnimmt (und nicht zur dritten, wie es in seiner Nähe geschieht); dass der Stromkreis bei entsprechender Schwingungsfrequenz elektromagnetische Wellen in den Raum aussenden kann (mittels der „Abschnürung“ elektrischer Kraftlinien vom Vibrator). Diese theoretischen Grundaussagen waren vollauf ausreichend, um sie bewusst zur Erfindung praktischer technischer Anlagen zu verwenden. „In den Jahren 1886 bis 1888 war es Hertz gelungen, mit Funkenstrecken als schwingungserzeugende Elemente und mit abgestimmten Schwingkreisen freie (von Leitern unabhängige) elektromagnetische Wellen zu erzeugen und die in den Raum abgestrahlten Wellen

[7] Hertz 1892, S. 2.
[8] Emile Édouard Sarasin (1843–1917) – Schweizer Physiker
[9] Brief 03154 (Briefe von Heinrich Hertz. In: Deutsches Museum München, Archiv Handschriftensammlung).

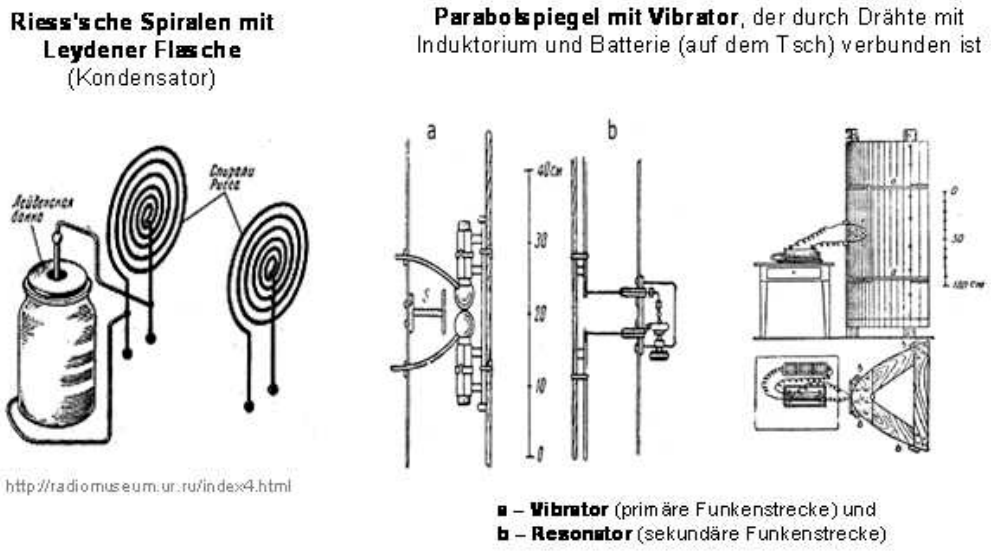


Abbildung 21.3:
Riess'sche Spiralen, Hertzsche Konstruktionen des Vibrators und Resonators

nachzuweisen. An die Optik angelehnte Versuche zur Brechung, Beugung und Reflexion von elektromagnetischen Wellen hatten der elektromagnetischen Lichttheorie Maxwells bereits eine gewisse empirische Bedeutung verliehen."[10]

Hertz schreibt darüber: *„In der Optik finden unsere Versuche ihr Analogen in der Lloyd'schen Form des Fresnel'schen Spiegelversuches. In der Optik und Akustik gelten eine versuche als Argumente für die Wellennatur des Lichtes und des Schalls, so werden auch wir die hier beobachteten Erscheinungen als Argumente für die wellenartige Ausbreitung der Induktionswirkung einer Elektrischen Schwingung ansehen dürfen."*[11] Hertz hat die Versuche angestellt um die Verbindung zwischen Licht und Elektrizität zu beweisen. Er beschreibt in einem Brief an Hermann von Helmholtz am 30. November 1888 aus Karlsruhe,[12] dass ist ihm geglückt ist, die regelmäßige Reflexion des Strahles nachzuweisen. „Die Hertzschen Wellen wurden jedoch nicht nur unter vielen Physikern als Bestätigung der Maxwellschen Theorie angesehen. Mit den Hertzschen Wellen kam offensichtlich auch der Kern der Maxwellschen Theorie, nämlich die genannten Verschie-

[10] Kaiser 1995, S. 97.
[11] Hertz (1888), N^0 8, S. 145.
[12] Brief HS 03122. (Briefe von Heinrich Hertz. In: Deutsches Museum München, Archiv Handschriftensammlung).

bungsströme und ihre elektrodynamische Wirkung, in den Blick der nun schon fast zwanzig Jahre lang auf die Starkstromtechnik fixierten Elektrotechniker."[13] Für die praktische Ausnutzung der Hertzschen Schwingungen war die Apparatur jedoch zu unvollkommen.

21.3 Die Verbesserung der Hertz'schen experimentellen Ausrüstung

Nach Veröffentlichung der Hertz'schen Ergebnisse wurden große Anstrengungen unternommen, um die experimentelle Ausrüstung zu verbessern und einfachere und zuverlässigere Methoden zur Erzeugung und Registrierung elektromagnetischer Wellen zu finden. „Nicht nur der Physiker von Fach, der Lehrer und der Studierende der Physik, sondern namentlich auch der wissenschaftlich gebildete Elektrotechniker sucht sich mit Grundzügen dieser Theorie bekannt zu machen".[14] Diese Arbeiten gingen faktisch nicht über die Grenzen experimenteller Tätigkeit hinaus und führten nicht zur technischen Anwendung der Elektrodynamik. Der russische Physiker P. Lebedev hat in seinem Artikel im Jahr 1895 „Über die doppelte Brechung der Strahlen der elektrischen Kraft" geschrieben: *„Nach dem Hertz uns die Methode gab, um experimentell die Folgen der elektromagnetische Lichttheorie zu prüfen . . . , ist natürlich ein Bedarf aufgetreten, seine Versuche in kleinem Maßstab, der für die physikalischen Untersuchungen bequemer ist, zu machen."*[15] Aber gerade eine solche Tätigkeit machte letzten Endes das Auftauchen der ersten Radioübertragungsanlagen und Radioempfangsanlagen möglich, da sie auf eine detaillierte Ausarbeitung und Konkretisierung des theoretischen Schemas der Elektrodynamik hinauslief.

Mangelhaft am Hertz'schen Sender war, dass die Schwingungen schnell abklangen und die Kontakte verschmorten. Der erste Mangel wurde durch die Verwendung von drei statt einer Funkenstrecke beseitigt, der zweite indem die Osziallatoren in Flüssigkeit getaucht wurden. Dadurch wurde es möglich, die Funkenlänge zu vergrößern, ohne dass jedes Mal die Notwendigkeit bestanden hätte, die Kügelchen zu polieren, und die Schwingungsperiode leicht zu verändern (indem der Abstand zwischen den Kondensatorplatten im primären Stromkreis bzw. zwischen den Vibratorkugeln selbst verkleinert oder vergrößert wurde). Das hat A. Righi[16] in seinem Vierkugeloszillator, dessen beide mittlere Kugeln in Vaselineöl gebettet waren, um das Entladungspotential zu erhöhen, gemacht.

Gleichzeitig beseitigte die Einschaltung des Kondensators die bei einigen Versuchen unerwünschten elektrostatischen Störungen. Letztendlich war es für die erste Radiosendeanlage ausreichend, in den primären Stromkreis der Induktionsspule die Morsetaste anzubauen.

[13] Kaiser 1995, S. 97.
[14] Föppl 1904, S. VI.
[15] 50 let radio. Vyp. 1. Iz predystorii radio. Sbornik originalnykh statej. [50 Jahre Radio. Heft 1. Aus Vorgeschichte des Radios.]. Moskva-Leningrad: Mysl 1948, S. 398.
[16] Augusto Righi: italienischer Forscher und Lehrer von Marconi.

Ein weiterer Mangel des Vibrators von Hertz bestand in der geringen Größe des erzeugten Funkens, die die Registrierung erschwerte. Die Suche nach zuverlässigeren Methoden der Funkenerzeugung wurde gleichzeitig von mehreren Forschern aufgenommen; für die Registrierung wurden Gasentladungsröhren, Elektroskope, Thermoelemente usw. benutzt. Am aussichtsreichsten erwies sich jedoch der *„Kohärer“* – ein Gerät zur Feststellung elektrischer Schwingungen, dessen Wirkung auf der Widerstandsänderung des „schlechten Kontakts“ unter Einwirkung von elektrischen Schwingungen in dem Stromkreis beruhte, an den er angeschlossen war.[17] Mit Hilfe des Kohärers demonstrierte Oliver Lodge die Reflexion, Brechung und Polarisation elektromagnetischer Wellen. Wie behauptet selbst Hertz:

> *„Professor Oliver Lodge in Liverpool hat in den gleichen Jahren, in welchen ich die hier beschriebene Arbeit ausführte, die Theorie des Blitzableiters verfolgt und dabei eine Reihe von Versuchen über die Entladung sehr kleiner Condensatoren angestellt, welche ihn auf die Beobachtung von Schwingungen und Wellen in Drähten führten. Da er vollständig auf dem Boden der Maxwellschen Anschauung stand und eifrig bestrebt war, diese Anschauungen zu erweisen, so ist kaum zu zweifeln, dass wenn ich ihm nicht zuvorgekommen wäre, er auch zur Beobachtung der Wellen in der Luft und damit zum Nachweis der zeitlichen Ausbreitung der elektrischen Kraft gelangt wäre.“*[18]

Um den Kohärer zu regenerieren, wurde die „automatische Rüttelvorrichtung“ für die Metallspäne, die ihn ausfüllten, anfangs an den Stromkreis des Kohärers, später an einen sekundären Stromkreis mit einer stärkeren Energiequelle angeschlossen (die Wirkung elektrischer Ladungen verringert den großen Widerstand der Späne in hohem Maße). So entstand die erste Radioempfangsanlage.

Eine ankommende elektromagnetische Welle machte die Metallspäne oder das Nickelpulver leitend und aktivierte so einen Hilfskreis. „Daher konnte auch Oliver Lodge schon Anfang der 90er Jahre die Hertzschen Anordnungen sehr vervollkommnen. Aber noch hafteten allen diesen Einrichtungen zu sehr das Laboratorium an.“[19] Marconi hat die schon teilweise vorhandene Ausrüstung konstruktiv verbessert, technologische Maßnahmen für die Produktion der ersten Sender und Empfänger entwickelt und ein Marktprodukt geschafft. Dieses neue, vorher nicht existierende Produkt („drahtloser Telegraf“) hat er mit der Hilfe von ihm selbst im Jahre 1897 gegründeten *„Wireless Telegraphy and Signal Company“* vermarktet.

[17] „Kohärer“ (oder Fritter) wurde von Edouard Branly, Physikprofessor am Institut Catholique in Paris, entwickelt. Der „Kohärer“ bestand aus einem Glasrohr mit eingepressten Metallspänen. Er zeigte, dass der „Kohärer“ „normalerweise einen großen elektrischen Widerstand besitzt, der aber gleich Null wird, wenn in der Nähe ein Funken ausgelöst wird. Er selbst hat zunächst aber keinen Zusammenhang mit den elektromagnetischen Wellen gesehen, die Anordnung wurde jedoch sofort von vielen für die drahtlose Telegraphie benutzt“ (siehe: `http://www.pit.physik.uni-tuebingen.de/braun.html`). Der Kohärer mit seinen plötzlichen Wechsel zwischen isolierendem und leitendem Zustand war „ein völlig undefiniertes Bauteil“ des Radioempfängers, „das sich nicht theoretisch beschreiben ließ“ (siehe: Hars 1999, S. 151.)

[18] Hertz 1892, S. 3.

[19] Nesper (1922), S. 130.

1895 hatte A. Popow „den Kohärer mit Klopfer und Relais in Verbindung mit einem Luftdraht (Empfangsantenne) zur Registrierung von Gewittern benutzt. In derselben Zeit hatte Marconi Sendeversuche mit einem Righischen Oszillator und daran gehängtem Luftdraht (Sendeantenne) angestellt. Zum Empfang benutzte er eine Anordnung, die wesentlich identisch war mit der Popoffschen.“[20] Im Januar 1896 veröffentlichte Popow im *Journal der Russischen Gesellschaft für Physik und Chemie* einen Artikel unter dem Namen „Gerät zur Aufprüfung und Registrierung elektrischer Schwingungen“, in dem er das Schema und eine detaillierte Beschreibung des weltweit ersten Radioempfängers lieferte. Eine erfolgreiche praktische Umsetzung des Geräts bewies seine Fähigkeit, elektromagnetische Wellen in der Atmosphäre aufzufangen. Am 24. März 1896 demonstrierte der Wissenschaftler anschaulich die schnurlose Übertragung von Signalen auf eine Entfernung von 250 Metern. Im Juni 1896 patentierte der Italiener Guglielmo Marconi in England eine Erfindung, die das Schema des zuvor in der Publikation Popows veröffentlichten Geräts wiederholte. Diese Aktion bewog den russischen Wissenschaftler zu einer Reihe von Stellungnahmen in der eigenen und der internationalen Presse, in denen er sein Recht des Ersten verteidigte. Zwar wurde er dafür auf dem Pariser Elektrotechnischen Kongress im Jahr 1900 geehrt, im öffentlichen Bewusstsein blieb jedoch weiterhin Marconi aufgrund seines Patentes als Erfinder des Radios bestehen. Später kam zum Ignorieren des russischen Erfinders im Westen auch noch die politische Komponente hinzu.“[21]

Es ist interessant die Beschreibungen der beiden Versuche zu vergleichen. In dem Buch „Reich der Erfindungen“ aus dem Jahre 1901 wurde die Signalfernübertragung von Marconi wie folgt beschrieben.[22]

Das Vorgebirge South Foreland an der südöstlichen Küste Englands wurde für die Versuche mit der Telegraphie ohne Draht im Jahr 1898 ausgewählt. (Ein erster Versuch fand 1896 über eine relativ kurze Entfernung über den Bristolkanal (etwa 13 km) statt.). Dieser Ort ist aber auch schon von früher her mit der Geschichte der Elektrizität eng geknüpft. Dort versuchten z. B. J. Hopkinson und C. A. Adams ihre ersten Wechselstrommaschinen in dem Leuchthaus. Sie haben auch ihre Experimente zur Messung der Lichtstärke elektrischer Lampen durchgeführt. „Vor diesem Leuchthause erhebt sich ein Mast von 350 m Höhe, aus drei Teilen zusammengesetzt, der Sende- und Empfangspol für die elektrischen Wellen, welche die Träger der drahtlosen Telegraphie sind.“

Die eigentliche Station besteht aus große Induktionsspule, Kohärer und der Apparat zum Empfang von Telegrammen.

„Eine Verbesserung der Konstruktion hat dafür gesorgt, dass der Empfangsapparat automatisch eingeschaltet wird, sobald keine Depeschen ausgesandt werden, damit die Station immer zur Aufnahme telegraphischer Meldungen bereit ist. Die empfangenen Te-

[20] Mandelstam / Papalexi (1928).

[21] „Ab den späten 1880ern begann Popow mit seiner Forschungsarbeit an elektromagnetischen Wellen, die im Jahr 1895 in die Entdeckung des Radios mündete. Ab 1901 leitete er den Lehrstuhl für Physik am Petersburger elektrotechnischen Institut, im Jahr 1905 wurde er Direktor des Instituts“. (*Wikipedia*: `http://de.wikipedia.org/wiki/Alexander_Stepanowitsch_Popow`).

[22] Gamter 1998, S. 256–257.

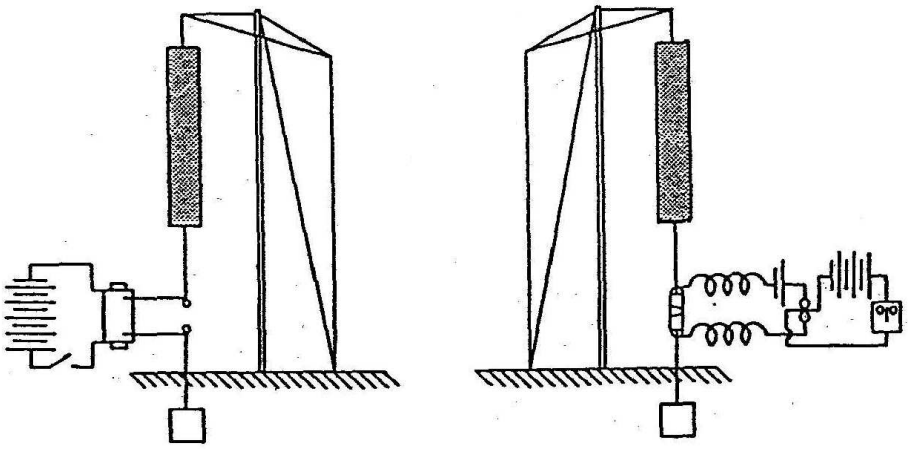


Abbildung 21.4:
Sender- und Empfängerstation von Marconi

Aitken, H.G.J.: Syntony and spark – the origin of radio.
New York: John Wiley & Sons 1976, p. 195.

legramme zeichnen sich ... mit deutlichen Punkten und Strichen mittels eines Schreibstifts auf einen laufenden Papierstreifen auf; außerdem kann eine elektrische Glocke eingeschaltet werden, nach deren Zeichen der Telegraphist die Depesche direkt abhören kann. Selbst Ungeübte telegrafieren mit diesem Apparat vierzehn bis fünfzehn Worte in der Minute, geschickte Telegraphisten haben es über zwanzig Worte gebracht". Nachdem die Verbindung zwischen englischen und französischen Küsten mit der Entfernung von 50 km erfolgreich geschehen wurde, war der nächste wichtige Schritt die weitere Verbesserung der Apparate.

Was hat eigentlich Marconi neues gemacht, wenn alles, was er für seine Apparate benutzt hat, schon bekannt war? „Marconis Leistung ist daher in andere Richtung zu suchen. In der Tat gelang es ihm im Gegensatz zu seinen Vorgänger, als solche durchaus bekannte einzelne Maßnahmen mit einem intuitiven Gespür für die technischen Gegebenheiten zu einem funktionsfähigen Ganzen zusammenzufügen; um eine umfassende physikalische Vorbildung verfügte er jedoch nicht." Eigene erfinderische Beiträge Marconis sind wenig zu verzeichnen.[23] „If the question refers to equipment, it is easily answered: he took very little that was not already there".[24]

[23] Kurz 2000, S. 445.

[24] „He was translating scientific discoveries already made by others into useful and potentially profitable devices. Analytically, he was the final step in a simple linear progression – final in the sense that with Marconi and experimenters like him (Popov in Russia; Ducretet in France; Slaby, Arco, and Braun in Germany; Stone, Fessenden, and De Forest in the United States; to some extent Lodge in England) the line of scientific advance that had led from Faraday and Maxwell to Hertz had now reached the stage of commercial exploitation. The transfer of new knowledge had been up to this point entirely one way: out of science into technology and thence into commercial use. Now, however, a reverse flow of information was beginning as Marconi, in search of an objective – greater distance – which was of little immediate concern to scientists, moved out from the area of knowledge in which the

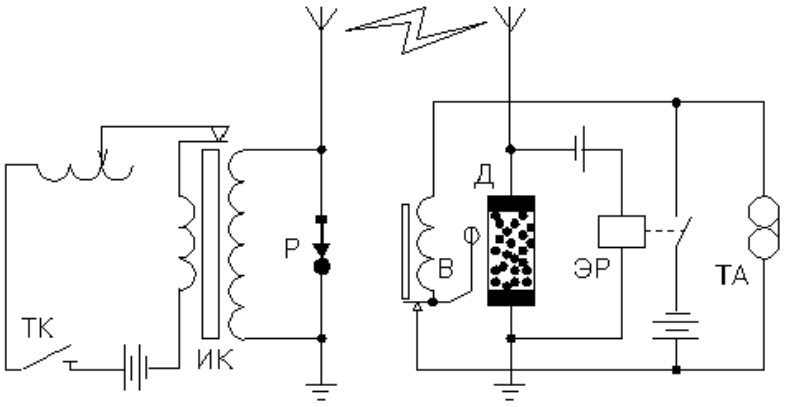


Abbildung 21.5:
Sender und Empfänger von Marconi

http://www.computer-museum.ru/connect/histra13.htm

Genauso experimentierte Alexander Popow mit der drahtlosen Signalübertragung in Russland.

„Im Sommer 1897 vergrößerte Popow die mögliche Entfernung der Übertragungen. Mit Mitteln des Marine-Ministeriums wurden neue Geräte hergestellt und eine Kommunikationsreichweite von 5 Kilometern erreicht. Die ersten russischen Erfahrungen mit dem Radio, das in erster Linie eine militärische Bedeutung hatte, wurden geheim durchgeführt, aber die dabei entdeckte Eigenschaft der Reflektierung von Radiowellen an Gegenständen (speziell an Schiffen) diente als Basis für die späteren Radare. In den Jahren

science of the time could help him and began the exploration of problems for which that science had no solution. Marconi's function now became more complex. In addition to utilizing existing scientific knowledge for practical ends, he was also generating, in a kind of feedback process, problems for science to solve and data for science to rationalize. ... as technological entrepreneur and innovator, Marconi was reaching into problem areas where science had no ready answers. This feedback process, the generation of new information from „field experience", would have been much slower to appear if Marconi had been content to continue working at very short wavelengths, for there the scientists were also hard at work and unexpected results would have been less likely. It is worth noting that Lodge, in his experiments and demonstrations between 1894 and 1896, found nothing that surprised him, no phenomena that, as a scientist, he thought anomalous or strange. Marconi, in contrast, had already by 1895 moved out of these tidy and well-tended pastures into *terra incognita*. Consider, for example, what he would have required to fully comprehend the results he was attaining with his new antenna and coherer. He would have needed a theory of antenna design; apart from the basic theory of the linear dipole, there was none. He would have needed a theory of propagation, and in particular a theory that would have enabled him to recognize and exploit the differences between the propagation characteristics of different frequency bands. No such theory existed ... And he would have needed a theory of transmission lines, such as would enable him to match his transmitters and receivers to their antennas. Here some of the empirical relationships had been worked out, but not as a systematic body of knowledge. In each of these fields Marconi's work was already generating new data and new problems" (Aitken 1976, p. 198–200.)

1898 und 1899 leitete Popow die Experimente an der Ostsee und am Schwarzen Meer, und entwickelte die Transferierung der empfangenen Radiowellen in Schallsignale (davor konnten sie nur auf Papier aufgezeichnet werden). Im Jahr 1900 betrug die Kommunikationsreichweite bereits 112 Kilometer.“[25] Zu Lebzeiten hat Popow wenig Unterstützung und Verständnis von den damaligen Behörden bekommen. Er starb im Jahr 1906 nach einem sinnlosen Gespräch mit dem zuständigen Minister. Nur viel später wurde die Wichtigkeit seiner Erfindung für sein eigenes Land richtig eingeschätzt. 1910 wurde für die Entwicklung von Marine-Radiostationen in Sankt Peterburg das „Depot für die Radiotelegraphie“ (später radiotelegraphische Betrieb) von dem Marine-Ministerium Russlands gegründet. In der Sowjet-Zeit bekommt die staatliche Unterstützung der Radioindustrie zusammen mit der theoretischen und angewandten Forschung und Entwicklung viel größere Achtung.[26] 1918 wurde in Petrograd (so heißt zu dieser Zeit Sankt Petersburg) die *„Russische Gesellschaft der Radioingenieure“* gegründet, welche die Organisation des Zentralen Radio-Laboratoriums in der Stadt Nishny Novgorod sowie die Ausgabe der Zeitschrift *„Drahtlose Telegraphie und Telephonie“* bei der Volkskommissariat für Post und Telegraphie initiiert hat.

Marconi benutzte viele Ergebnisse anderer Forscher und Erfinder und bewies viel Geschäftssinn. Aber es zeigte sich bald, „dass zur Erzielung größerer Reichweiten eine unverhältnismäßig viel stärkere Vergrößerung der Antennenhöhe, notwendig war. So hat z. B. Slaby (1897) zur Überwindung einer Entfernung von 21 km über Land Luftdrähte von 300 m Länge verwandt, die von Luftballons getragen wurden. Auf diesem Wege, ohne Hinzufügung neuer Gedanken und ohne Erkenntnis der sich abspielenden physikalischen Vorgänge konnte offenbar die neue, glänzende Erfindung Marconis sich kaum weiter entwickeln. Beides hat F. Braun geleistet …“[27] Er entwickelte den so genannten gekop-

[25] *Wikipedia*: `http://de.wikipedia.org/wiki/Alexander_Stepanowitsch_Popow`.

[26] „The example of the Nizhniy Novgorod Radio Laboratory, founded in 1918, shows that theoretical research and instruction were combined with design engineering und even production during the first years of development of radio engineering. New discoveries were immediately embodied in inventions and were then quickly moved into production. Along with the organization of scientific research, the tasks of the Nizhniy-Novgorod laboratory included the development of new radio equipment, instruction of highly skilled specialists, and organization of manufacture of 3000 units of electrical relays a month. In the 1930s, however, the laboratory concentrated on the general research and development functions. Its head, Bonch-Bruyevich, believed it could only take projects to pilot manufacture, rather than deal with production on an industrial scale. This latter purpose was to be served by a laboratory headed by Vologdin, which, after being separated from the Nizhniy-Novgorod laboratory, was included into a trust that combined low-current equipment factories and then was converted into the Central Radio-Engineering Laboratory (CRL). The head of the laboratory was given the same status as the directors of the factories in the trust. The main task of the CRL was to carry out scientific and engineering research on a class of engineering problems. The laboratory's intermediate but important status between theoretical investigations in applied science and practical engineering research can be clearly seen from the following facts: 14 of its research associates became academicians; 12, corresponding members of the USSR Academy of Sciences; over 100, doctors and candidates of science; more than 60, directors and chief engineers of factories and R&D institutions; over 15 R&D institutes and laboratories were set up on its basis, and dozes of new factories appeared with its assistance“ (Gorokhov 1990, p. 220, 222.)

[27] Mandelstam / Papalexi (1928).

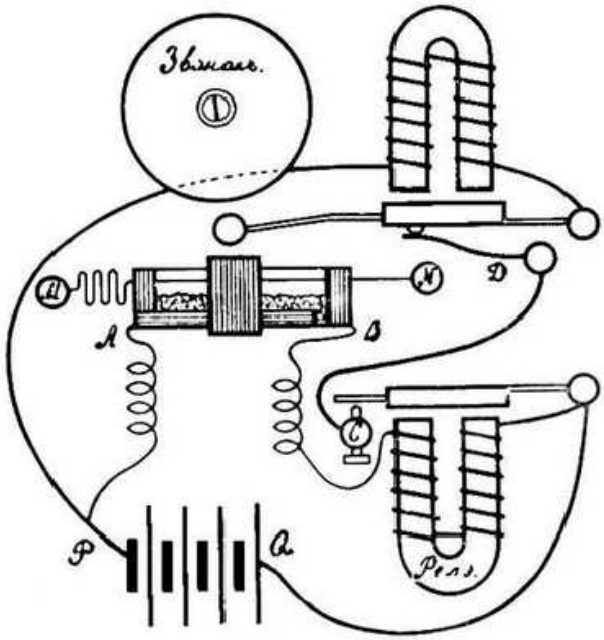


Abbildung 21.6:
Radioempfänger von Alexander Stepanowitsch Popow (1859–1905)
http://de.wikipedia.org/wiki/Alexander_Stepanowitsch_Popow

pelten Sender (Primärkreis – ein Kondensatorkreis mit Funkenstrecke, Sekundärkreis – die Antenne), während Marconi die Antenne mit einer darin enthaltenen Funkenstrecke verwendet hatte. Welche physikalische Prozesse in der Marconi-Antenne laufen, wusste damals niemand ganz klar.

Im Gegensatz zu Marconi arbeitete Braun bewusst mit größerer Wellenlänge. Das hat sich Braun am 14. Oktober 1898 patentieren lassen. Brauns Assistent und enger Mitarbeiter Zenneck[28] hat die Versuche an der Nordsee gemacht um die Leistungen der beiden Sender zu vergleichen und hat damit ganz deutlich die Überlegenheit des Braunschen Senders bewiesen. Marconi hat diese neue Erfindung sofort übernommen und damit ermöglicht, im Jahre 1901 die Verbindung zwischen Europa und Amerika mit der Hilfe der drahtlosen Telegraphie zu realisieren. Interessant ist, dass Marconi selbst nach seiner ersten erfolgreichen Übertragung für relativ kleine Entfernung nicht mehr an die Realisierbarkeit der drahtlosen Telegraphie für größere Entfernungen (wie z. B. von Europa nach USA) geglaubt hat. Er hat die damals über die Presse verbreiteten Überlegungen darüber für unbegründete Fantasien gehalten. „Er selbst (gemeint ist Marconi – V.G.) ist keineswegs mit den phantastischen Nachrichten einverstanden, welche in seiner Erfindung schon die einzige Telegraphie der Zukunft erblicken und eine drahtlose telegraphische Verbindung zwischen Europa und Amerika nur für eine Frage der Zeit halten; Nachrichten, welche die Kabelgesellschaften in eine leicht erklärliche Unruhe ha-

[28] und späterer Direktor des Deutschen Museums in München

ben geraten lassen. Nach seiner Meinung wird die drahtlose Telegraphie auf Tausende von Kilometern hin den Draht und das Kabel nicht verdrängen".[29]

Ein anderer deutscher Wissenschaftler, Adolf Slaby, nahm im Mai 1897 an Funkversuchen von Marconi teil und führte danach in Berlin selbst drahtlose Telegraphie-Versuche durch. „Was war nun hier schon bis zum 1. Nov. 1897 geleistet worden? Um es vorweg zu nehmen: Man konnte bis auf eine Entfernung von 21 km drahtlos einen Morseschreiber betätigen und im allgemeinen richtige unverstümmelte Telegramme ohne verbindenden Leitungsdraht übertragen. Dabei waren die Mittel, die von Slaby benutzt wurden, nach dem Vorgange von Marconi entsprechend dem Schema ... die denkbar einfachsten." Slaby verbesserte die Apparatur: er verwendet als Sender einen Funkeninduktor, dessen Funkenstrecke in einem mit dem induktiv gekoppelten Antennenkreis lag; der Kohärer sowie die Abstimmung der Antennendrähte auf unterschiedliche Frequenzen wurden auch sukzessive verbessert.

Der Popov-Marconi-Streit zeigt uns einerseits die technikphilosophischen Unterschiede zwischen wissenschaftlichen und ingenieurtechnischen Welten. Anderseits spielt für die Einsetzung neuer Technik nicht nur die Entdeckung, Erfindung und Patentierung eine große Rolle, sondern auch die Anpassung an die industrielle Fertigung und die Vermarktung neu geschaffener Produkte (Innovationen).

Diese Fähigkeit, alle diese Bereiche zusammenzubinden, zeigt am besten Ferdinand Braun, „hervorragende[r] Physiker in Theorie und Praxis", der „zusammen mit seinen Industriekontakten" die drahtlose Telegraphie mitentwickelte. Er hat nicht nur seine Erfindungen rechtzeitig und ordnungsgemäß patentiert und verteidigt, sondern auch für die Vermarktung seiner Erfindungen und Patente eine Firma gegründet. Er beweist z. B., dass seine Patente für gekoppelte Schwingungskreise und Rahmenantennen, ohne die größere Entfernungen kaum überschritten werden konnten, wesentlich früher als von Marconi patentiert wurden. In Deutschland kam es auch zu einem Prioritätenstreit zwischen Braun und Slaby, der aber beigelegt werden konnte. Slaby und sein ehemaligen Assistent G. Graf von Arco arbeiteten für die AEG, Braun für Siemens. Braun hat eine Reihe von Messinstrumenten entwickelt und verbessert. Alle diese Apparate von F. Braun vermarktete die Firma „Hartmann & Braun" kommerziell, deren Leiter sein Bruder war. Wegen der Bedeutung der drahtlosen Telegraphie, und um ein Gegengewicht gehen die Marconi-Aktivitäten zu bilden, kam es 1903 zur Gründung der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie (Telefunken) durch AEG und Siemens & Halske, die sich bis dahin in einem Konkurrenzkampf befunden hatten. „In technischer Hinsicht war die neue Firma Telefunken allerdings noch lange nicht auf die Höhe der britischen Marconi-Gesellschaft. So gelang es zwar mit Hilfe eines Dumping-Angebots, die russische Regierung zur Ausrüstung ihrer Flotte mit dem Slaby-Arco-System zu bewegen, aber in der Seeschlacht von Tsushima (gegen die Hochseeflotte Japans) versagten den Funkeinrichtungen weitgehend, und nur die wenigen Marconi-Anlagen bewährten sich".[30]

„Für die Telegraphie im Wasser arbeitete er mit dem Investor Stollwerk zusammen. Diese Zusammenarbeit führte ihm im Juli 1900 zur Gründung der neuen Braun-Siemens-

[29] Gamter 1998, S. 257.
[30] Kurz 2000, S. 446.

Halske Gesellschaft, die später mit anderen Unternehmen verschmolz und heute noch unter dem bekanntem Namen Telefunken produziert."[31]

Die Entwicklung der Elektrodynamik verlief also in zwei Hauptrichtungen:

1. der weiteren Verallgemeinerung und Systematisierung der physikalischen Theorie[32] und
2. der Vervollkommnung der strukturellen Schemata für die Experimente, die die Entstehung der Radiotechnik stimulierten. „Das zentrale Ziel der Technikwissenschaften sehen wir in der Beschreibung und Erklärung von Struktur und Funktion vorhandener sowie möglicher Technik".[33] Das gilt übrigens vor allem nur für die klassischen technischen Wissenschaften.

Die zweite Richtung hatte im Grunde genommen Ingenieurscharakter.

21.4 Die Entstehung der drahtlose Telegraphie (Radiotechnik)

Die Institutionalisierung dieser Art von Ingenieurtätigkeit vollzog sich allerdings erst nach der Erfindung des Radios, als sich ein neuer Industriezweig herauszubilden begann. Diese Tätigkeit war darauf gerichtet, Konstruktionsvarianten radiotechnischer Anlagen zu entwickeln. Sie wurde Grundlage der Entstehung und des Funktionierens der radiotechnischen Theorie. Zu diesem Zeitpunkt setzt auch die Geschichte der Radiotechnik ein. Von da an befasst sie sich hauptsächlich mit der Entwicklung neuer Schaltungen bei radiotechnischen Anlagen (z. B. Schaltungen mit geerdetem Gitter, Reflexschaltungen, Superhetempfänger usw.).

Genau das hat Ferdinand Braun angefangen zu machen. „An einen Sender für drahtlose Telegraphie werden zweierlei Aufgaben gestellt: erstens müssen in ihm möglichst kräftige, hochfrequente Wechselströme erzeugt werden, sodann müssen dieselben in Strahlung, d. h. in elektrische Wellen, umgesetzt werden. Der Marconisender, der im Gegensatz zum Kondensatorkreis kein „geschlossener", sondern ein „offener" Schwingungskreis ist, strahlt vorzüglich. Dagegen ist der Kondensatorkreis, der praktisch selber nicht ausstrahlt, für die Erzeugung von starken, hochfrequenten Strömen dem offenen Schwingungskreis weit überlegen. Durch Vereinigung beider Gebilde entstand nun der berühmte Braunsche gekoppelte Sender. ... Eine ähnliche zwiefache Aufgabe wie beim Senden entsteht auch beim Empfang. Es müssen zunächst die vom Sender ankommenden elektrischen Wellen aufgefangen werden, wobei sie in hochfrequente Ströme umgesetzt werden, die dann ihrerseits die Zeichenwiedergabe im Telephon oder Schreibapparat bewirken. Auch hier

[31] Frick 1997, S. 13–15, 19, 21.

[32] „Die Entdeckungen von Heinrich Hertz erbrachten den Nachweis, dass sich in der Tat im Dielektrikum, insbesondere im luftleeren Raum, elektromagnetische Vorgänge abspielen. Seitdem sind die Grundvorstellungen der Maxwellschen Theorie wohl von allen Physiken aufgenommen worden" (Föppl 1904, S. 1.) Hertz selbst schreibt am 5. November 1887 an Hermann von Helmholtz: „Ich glaube dass die ... elektrischen Schwingungen noch sehr nützlich für die Elektrodynamik ungeschlossener Ströme werden können ..." (Brief 3118. Deutsches Museum München, Archiv Handschriftensammlung.)

[33] König 1995, S. 324.

eignet sich zum Empfangen der Wellen der Luftdraht, wie ihn Popov und Marconi verwandt hatten, vorzüglich. Er eignet sich aber viel weniger gut für eine zweckmäßige Ausnützung der aufgefangenen Energie, wozu, wie Braun erkannte, wiederum der Kondensatorkreis hervorragend geeignet ist. So entstand durch Verbindung des Luftdrahtes mit einem oder mehreren Kondensatorenkreisen der gekoppelte Braunsche Empfänger".[34]

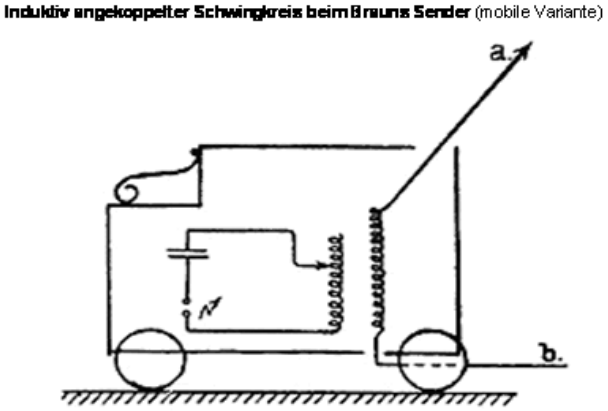


Abbildung 21.7:
Induktiv angekoppelter Schwingkreis bei Brauns Sender

Ferdinand Braun war der erste, der wirklich verstanden hatte, was bei Radiosender und Radioempfänger elektrisch vor sich ging. Aus theoretischen Überlegungen kam Braun zu dem Schluss, die Funkenstrecke beim Sender und auch den Kohärer (an die Antenne) induktiv anzukoppeln. Das hat seinen Sender viel wirksamer gemacht und ermöglicht damit die Funkverbindung über den Atlantik. Brauns Erfindung des Kristalldetektors ersetzte bald den von Branly vorgeschlagenen Kohärer. „Die ganze Technik des Sendens hat seit der Zeit, wo Braun den geschlossenen Kreis in die Praxis einführte, viele Wandlungen erfahren. ... Die Verwendung der Elektronenröhre hat eine vollständige Umwälzung gebracht und Möglichkeiten geschaffen, an die in den ersten Entwicklungsjahren kaum gedacht werden konnte".[35]

Genau von diesem Moment an kann man von der Herausbildung der eigentlichen technischen Theorie sprechen.

Gleich in den ersten Jahren nach der Erfindung des Radios setzt eine stürmische Entwicklung der Radiotechnik ein. Die Ingenieurtätigkeit wird zum Hauptansporn für die theoretischen Forschungen. Das Augenmerk der zahlreichen Erfinder dieser Zeit konzen-

[34] Mandelstam / Papalexi (1928).
[35] Mandelstam / Papalexi (1928).

triert sich auf die Vervollkommnung konstruktiver Elemente (der Detektoren,[36] Transformatoren und Hochfrequenzgeneratoren, Kathodenröhren usw.) und von der Verbesserung der Schaltungen radiotechnischer Anlagen (Lichtbogengeneratoren, Sender mit Stoßerregung, geschlossene Schwingkreise usw.).

„Es sollten zum Auffangen der elektrischen Wellen *geschlossene Schwingungskreise* benutzt werden, im Gegensatz zu den bis dahin allgemein benutzten offenen Kreisen. Bei diesen Versuchen entstand 1913 in Straßburg *die Rahmenantenne*,[37] die heute als Empfangsantenne weiteste Verbreitung gefunden hat. Der Rahmenempfang bietet gegenüber dem Empfang durch offene Schwingungskreise wesentliche Vorzüge. Man kann sich bei ihm freimachen von Störungen, die aus bestimmten Richtungen kommen, und hat somit größere Störungsfreiheit. Weiter hat man die Möglichkeit der drahtlosen Peilung usw. Diese Vorzüge, welche heute wohl allgemein anerkannt sind, wurden von Braun klar erkannt".[38] „Die 1890 zum ersten Mal eingesetzte Rahmenantenne ermöglicht eine gerichtete Ausstrahlung und einen Richtempfang. Damit werden atmosphärische Störungen unterdrückt und unerwünschter Mitempfang ausgeschaltet. Marconi übertrug diese neue *Braunsche Schaltung* auf seine Geräte. 1901 verbindet er Europa mit Amerika, die drahtlose Telegraphie kann nun die Welt erobern".[39]

All dies diente der Vergrößerung von Leistung und Reichweite, dem Benutzungskomfort, der Sparsamkeit, sowie der Erschließung von immer neuen elektromagnetischen Wellenbereichen für Radioübertragung und -empfang und ihre immer anschauliche Darstellung. So war zum Beispiel die Kathodenstrahlröhre oder die *Braunsche Röhre*. „Durch ihr praktisch trägheitsloses Funktionieren gibt sie die Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf variabler Ströme und Spannungen bis zu außerordentlich hohen Frequenzen zu untersuchen. Diese von Braun gleich in seiner ersten Publikation betonte Eigenschaft seiner Röhre gibt ihr eine Sonderstellung unter allen oszillographischen Vorrichtungen. Für die schnellen Schwingungen, die in der Radiotechnik benutzt werden, ist die Braunsche Röhre das einzige Mittel, um den zeitlichen Verlauf im Detail zu untersuchen . . . "[40] Das war aber noch ein Prototyp für die modernen oszillographischen Vorrichtungen. Heute ist der Oszillograph „ein grundlegendes Messgerät der Elektronik, um zeitveränderliche Spannungen in ihrem Graphen auf einem Bildschirm sichtbar zu machen (Signalverlauf- und Form), sowie deren Amplitude in Abhängigkeit zur Zeit messen, bzw. darstellen, zu können".[41]

[36] „Einer der wesentlichsten Bestandteile der Empfangseinrichtung ist bekanntlich der Detektor, d. h. eine Vorrichtung, die die im Empfänger unter dem Einfluss der ankommenden Wellen sich ausbildenden hochfrequenten Ströme anzeigbar macht. Als Detektor wurde in den Anfängen der drahtlosen Telegraphie der sog. Kohärer benutzt. Dieser blieb aber trotz der Bemühungen einer ganzen Reihe von Erfindern ein außerordentlich diffiziler und inkonstanter Apparat, der sich für technische Zwecke nur recht mangelhaft eignete. Es ist somit verständlich, dass die Bestrebungen vieler Forscher darauf hinzielten, neue, besser geeignete Detektoren aufzufinden" (Mandelstam / Papalexi (1928).

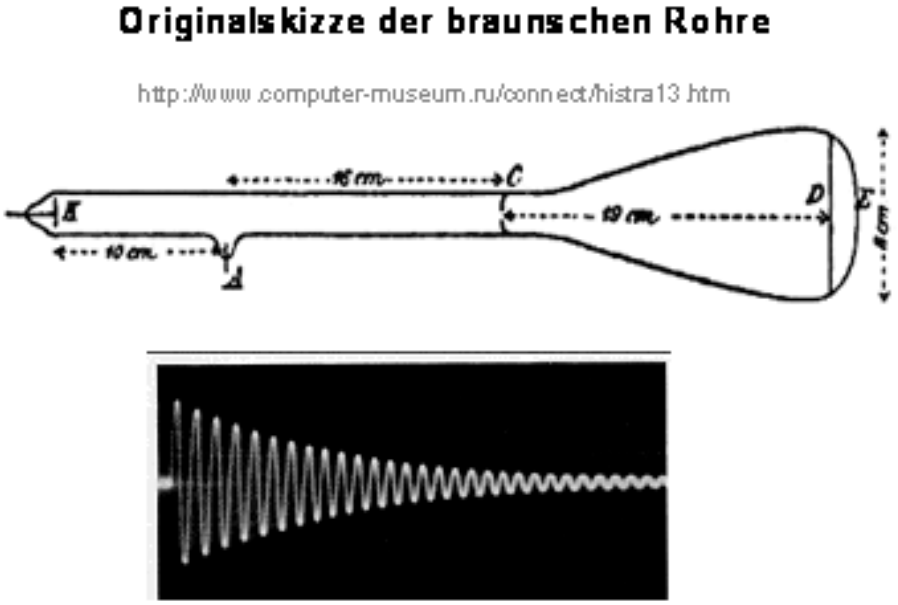
[37] Braun hatte „endgültig erkannt, dass die Antenne kein passives Bauteil war" (siehe: Hars 1999, S. 138.)

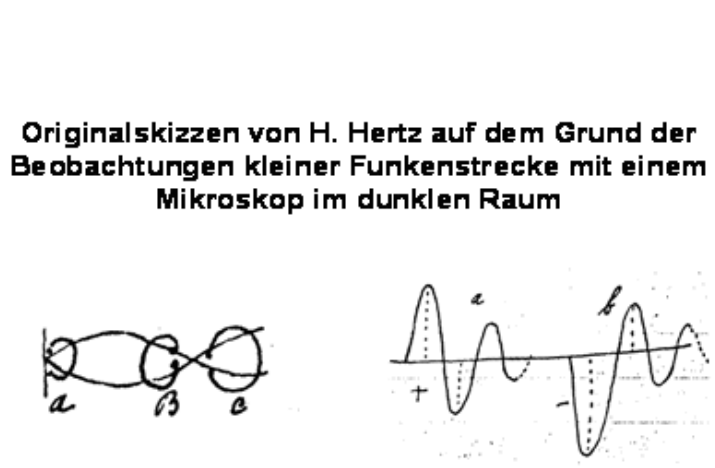
[38] Mandelstam / Papalexi (1928).

[39] Siehe: `http://www.pit.physik.uni-tuebingen.de/braun.html`.

[40] Vgl.: Mandelstam / Papalexi (1928).

[41] Vgl.: `http://www.abe-si.de/ET/oszi.html`.





Briefe von Hertz an Schweizer Physiker E. Sarasin am 12.04.1891 und nach Freiburg an Prof. L. Zender am 29.04.1893 aus Bonn. Briefe HS 3141 und HS 3169 (Deutsches Museum, Archiv)

Abbildung 21.8:
Originalskizze der Braunschen Röhre und Originalskizzen von H. Hertz

Braun wollte „den Wechselstrom der Stadt Straßburg mit seiner Kathodenstrahlröhre sichtbar machen. Er hatte sie bei der Firma Franz Müller Geissler Nachfolger in Köln bestellt. Auf der mit seiner Kathodenstrahlröhre verbundenen Drehspiegelanordnung erschien eine Sinus-Kurve. Der Wechselstrom des neu errichteten Elektrizitätswerks von Straßburg wird auf dem Bildschirm sichtbar ... In den folgenden Jahren brachten Braun und Zenneck zusätzliche Einrichtungen an, hauptsächlich die horizontale Ablenkung und einige weitere Verbesserungen. ... Rogowski aus Aachen brachte die Entwicklung voran, 1905 führte er die geheizte Kathode ein und die elektrostatische Ablenkung.“[42] Das Bild der Stromkurve war direkt auf dem Fluoreszenzschirm sichtbar, der Strahl folgte verzögerungsfrei der Änderungen des Stromflusses und Braun konnte das Schwingungsbild zu fotografieren und veröffentlichen. Es ist wichtig die Wechselströme graphisch darzustellen, zu messen und geometrisch zu konstruieren.[43]

Jede dieser Erfindungen war begleitet von theoretischen und experimentellen Forschungen.

Gleichermaßen diente die bereits früher entdeckte Eigenschaft zweier sich berührender Kristalle, Strom in einer Richtung durchzulassen, als Grundlage für die Erfindung des Kristalldetektors. Nach einer Reihe spezieller Untersuchungen fanden Braun und G. W. Pickard die für Kristalldetektoren geeigneten Kristallpaare. „Bereits im Jahre 1874 beschreibt Braun die folgende, von ihm entdeckte Tatsache: schickt man einen elektrischen Strom durch Kupferkies, Schwefelkies, Bleiglanz, Fahlerz u. dgl., so beobachtet man, dass seine stärke nicht proportional ist der EMK (= elektromagnetische Kraft – V.G.). Wenn dabei die Elektroden verschieden beschaffen sind, so hängt die Stromstärke auch von der Richtung der angelegten Potentialdifferenz ab. Braun hat beispielsweise bei seinen ersten Anordnungen Unterschiede der Stromstärke von 30% für entgegengesetzte Richtungen gefunden. Bei späteren Anordnungen waren die Unterschiede in der Stromstärke noch wesentlich größer, so dass man praktisch davon sprechen kann, dass der Strom nur in einer Richtung durchgeht. Diese Erscheinung, die eine Abweichung der Stromleitung vom Ohmschen Gesetz darstellt und die als unipolare Leitung bezeichnet wird, hat eine sehr wichtige Anwendung gefunden: auf ihr beruhen die von Braun erfundenen und in die Praxis der drahtlosen Telegraphie eingeführten Krystalldetektoren“.[44]

Die Herausbildung der Theorie der Radiotechnik ging somit in zwei Hauptrichtungen vor sich:

1. die Entwicklung und Konkretisierung theoretischer Schemata von elektromagnetischen Wechselwirkungen auf dem Wege der vollständigen Erfassung des praktisch nutzbaren Radiowellenbereichs (gleichzeitig wurden Methoden entwickelt, um ihre physikalischen Eigenschaften zu erforschen);[45]

[42] Vgl.: `http://www.pit.physik.uni-tuebingen.de/braun.html`.
[43] Vgl.: Hars 1999, S. 114–116.
[44] Mandelstam / Papalexi (1928).
[45] „Eine große Reihe von experimentellen Arbeiten und theoretischen Untersuchungen auch über rein wissenschaftlichen Fragen auf dem Gebiete der elektrischen Schwingungen und Wellen würde sicher nie unternommen worden sein, hätte die drahtlose Telegraphie nicht auf sie geführt“ (Röthe (1957), S. 424.)

2. die Ausarbeitung eines spezifischen verallgemeinerten theoretischen Schemas auf Grundlage von Untersuchungen radiotechnischer Konstruktionen. Darüber hinaus wurden neue Methoden der Analyse und Synthese ausgearbeitet.

Die „drahtlose Telegraphie“ war ursprünglich eine Anwendungsrichtung der Elektrodynamik. Später wurde die Radiotechnik als qualitativ neuer Abschnitt der Elektrotechnik betrachtet, dessen Aufgabe der Kampf gegen alle möglichen Störungsarten bei Ausstrahlung, Empfang und Nutzung des hochfrequenten elektrischen Stroms war. In den frühen Vorlesungen über Radiotechnik nimmt der elektrotechnische Teil noch einen bedeutenden Platz ein, da die Radiotechnik sich verschiedener elektrotechnischer Standardgeräte und -elemente bediente. Radiotechnische Stromkreise wurden ursprünglich als Modifikation elektrotechnischer Stromkreise, allerdings im Hochfrequenzbereich, betrachtet. Im gegebenen Fall kann man von einer Übernahme des theoretischen Ausgangsschemas und der ihm entsprechenden Begriffe, Vorstellungen und analytischen Methoden aus einer benachbarten technischen Theorie sprechen.

Im Verlauf der Umarbeitung dieses Schemas auf Grundlage neuen empirischen Materials (anderer konstruktiver Elemente) vollzieht sich eine grundlegende Wandlung. Radiotechnische Stromkreise verfügen über eine Reihe von wesentlichen Unterschieden zu elektrotechnischen, was die Notwendigkeit der Änderung der elektrotechnischen theoretischen Ausgangsmodelle nach sich zieht. So begann man für die Erzeugung hochfrequenter Ströme in der Radiotechnik Methoden anzuwenden, die der Elektrotechnik fremd waren; drahtlose freie Schwingungen sowie völlig neue Geräte und Anlagen; außerdem ändert sich auch der Maßstab vieler elektrotechnischer Größen.[46] Der Radiotechniker muss solche Größen berücksichtigen, die infolge ihrer Geringfügigkeit für das Studium der Technik langsamer Stromveränderungen uninteressant sind.

Zu Beginn der 20er Jahre verwandelte sich die drahtlose Telegraphie, in der vorher Intuition und Kunstfertigkeit vorherrschten, in eine Ingenieursdisziplin, die auf einem festen Fundament technischer Berechnungen und Projektierung beruhte. Die elektrische Telegraphie „benutzt nur schwache Ströme und niedrige Spannungen in Vergleich mit den Starkströmen. Trotzdem sind manche Kenntnisse hinsichtlich der Fortlegung des Stromes in beiden Gebieten gleich geblieben“.[47] Dazu entwickelt sich die neuen Methoden und Theorien, zum Beispiel die Netzwerktheorie. „Die bis zum Ende des 19. Jahrhunderts dominierende Starkstromtechnik *(das Maschinenbauzeitalter der Elektrotechnik)* war im wesentlichen an der Erfahrung orientiert und konnte die Netzwerktheorie daher nicht entscheidend fördern. ... Erst die zu Beginn unseres Jahrhunderts sich rasch entwickelnde Schwachstromtechnik (Telefontechnik und drahtlose Telegraphie) gab letztlich die entscheidenden Anstöße für die Etablierung einer selbstständigen Theorie elektrischer Netzwerke und wurde auf diese Weise auch ein Ausgangspunkt für zahlreiche neue mathematische Ansätze“.[48]

[46] „Die Meßmethoden für Stromstärke, Spannung u. dgl. konnten für die schnellen Schwingungen nicht direkt aus der damaligen Elektrotechnik übernommen werden. Es traten weiter auch ganz neue Anforderungen an die Messtechnik heran: die Messung von Frequenzen oder Wellenlängen und von logarithmischen Dekrementen“ (Mandelstam / Papalexi (1928).)

[47] Herzog / Feldmann 1921, S. 12.

[48] Mathis 1987, S. 26.

Folglich verschmilzt in der Theorie der Radiotechnik das dynamische physikalische Bild der elektromagnetischen Wechselwirkungen (Schwingungen, Wellen, Felder) mit der strukturellen Darstellung radiotechnischer Anlagen, in denen diese physikalischen Prozesse sich vollziehen und künstlich aufrechterhalten werden. Und genau diese ihre organische Verbindung macht auch das verallgemeinerte theoretische Schema der Technikwissenschaft aus.

Die Genesis der Theorie der Radiotechnik wird einerseits durch die naturwissenschaftliche Basisdisziplin bestimmt, andererseits durch die Vorstellungen und Aufgaben des Ingenieurs. Ihre Herausbildung geht deshalb in zwei entgegengesetzten Richtungen vor sich: *erstens*, durch zunehmende Konkretisierung des aus der entsprechenden Naturwissenschaft (Elektrodynamik) entnommenen theoretischen Schemas und, *zweitens*, vermittels der Verallgemeinerung theoretischer Teilmodelle, die in der gegebenen Technikwissenschaft im Prozess der Lösung von Ingenieuraufgaben entwickelt wurden.

Die drahtlose Telegraphie entwickelte sich von 1895 bis 1905 empirisch. Ferdinand Braun, der ein entschiedener Befürworter geforderten universitären Technikwissenschaft war, wollte *eine technische Fakultät an der Universität Straßburg gründen*. Er dachte, dass mit technischen Fakultäten innerhalb der Universitäten und mehreren erfolgreichen elektrotechnischen Unternehmen außerhalb „eine experimentelle und pädagogischen Praxis mit klar definierten Zielen und Ausbildungsinhalten“ als eine neu zu schaffende universitäre Technikwissenschaft etabliert werden könne. Er orientierte sich statt an der Theorie an den Notwendigkeiten der technischen Anwendung und entwickelte ein Programm zur *Modernisierung der Physik als technische Physik*. Dieses Projekt ist leider gescheitert. Die technische Physik führte an den Universitäten nur eine Art Schattendasein, obwohl die meisten Physiker im Bereich der Technik arbeiteten.[49]

Diese Ideen wirkten aber nicht nur in Deutschland sondern auch in Russland. Die engen Mitarbeiter Brauns aus Russland, L. Mandelstam und N. Papalexi, haben das Radiowesen in Russland im Sinne von Ferdinand Braun weiter entwickelt.

Leonid Mandelstam (1879–1944) studierte an der Physikalisch-Mathematischen Fakultät der Universität Noworossijsk in Russland, aber wegen Teilnahme an Studentenunruhen setzte er seine Ausbildung in Straßburg fort, wo er sie 1902 abschloss. Mandelstam hatte 1902 bei Braun promoviert und im Wintersemester 1906/7 habilitiert. Er erforschte Schwingungen im Stromkreislauf und entdeckte Prinzipien von schwachen Verbindungen, die bis heute wichtig für die Radiotechnik sind. Er blieb über 10 Jahre Assistent bei Braun. Er arbeitete auch „mehrere Wochen bei der Post und im Labor von Siemens, um sich mit der Fernmelde- und Telegrafentechnik vertraut zu machen“. Er bekam 1911 einen festen Lehrauftrag für angewandte Physik und später wurde Mandelstam „auch das Prädikat ‘Professor’ verliehen“.

Nikolaus Papalexi (1880–1947) „stammte aus einer wohlhabender russischen Familie mit Landgüter auf dem Krim, so dass er es nicht nötig hatte in Straßburg irgendeiner Tätigkeit nachzugehen, um seinen Lebensunterhalt zu verdienen“. Er promovierte 1904 und habilitierte sich 1911; danach arbeitete er als Privat-Dozent bei Braun. Mandel-

[49] Hars 1999.

Abbildung 21.9:
Leonid Mandelstam (1879–1944)

http://ggorelik.narod.ru/ADS_Babochki/LIM_VRAN_200410.html

stam und Papalexi mussten aber nach dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs als Russen Deutschland verlassen.[50]

[50] siehe: Hars 1999, S. 203, 204, 211, 222. In Straßburg studierte etwas früher bei Prof. A. Kundt ein anderer berühmter russischer Physiker, Peter Lebedev (1866–1912), der schon 1891 bei F. Kohlrausch in Straßburg promoviert hatte und seitdem in der Moskauer Lomonossow Universität zunächst als Assistent bei Prof. A. Stoletov (1839–1896) und seit 1893 bis 1911 als Professor arbeitete (vgl.: http://mirimen.com/co_beo/Lebedev-Petr-Nikolaevich-205E.html). Professor Aleksander Stoletov (1839–1896) hat Physik seit 1862 bis 1866 in der Universitäten Heidelberg, Göttingen, Berlin und Paris studiert, dann in der Moskauer Universität Vorlesungen gehalten und 1871 wieder ein Halbjahr in Heidelberg im Labor von Professor Kirchoff einige Experimente für seine Doktorarbeit duchgeführt. Seit 1873 war er Professor für Physik in der Moskauer Universität (vgl.: http://www.rulex.ru/01180525.htm). Er schreibt auch zwei Briefe in Jahr 1889 an Heinrich Hertz aus Moskau. In einem Brief von 23. September ob ein Vortrag „Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität“ am Heidelberger Naturforschertage schon veröffentlicht wurde. Hertz schickt ihm ein

Abbildung 21.10:
Nikolaus Papalexi (1880–1947)

http://www.computer-museum.ru/connect/histra13.htm

1914 kehrten Mandelstam und Papalexi nach Russland zurück. Sie arbeiteten seit 1923 zusammen in der Wissenschaftsabteilung des Zentralen Radiolaboratoriums des Elektrotechnischen Trusts der Schwachstromsbetriebe in Leningrad.[51]

Mandelstam leitete seit 1924 an der Universität in Moskau den Lehrstuhl für theoretische Physik. Papalexi blieb noch in Leningrad als Professor an der Polytechnischer Universität und seit 1935 arbeitete er in dem Physikalischen (sowie in dem Elektrotechnischen) Institut der Russischen Akademie der Wissenschaften. 1937 wechselte Mandelstam auch an das Physikalische Institut. Er arbeitete auf den Gebieten der Optik, Radiophysik, Radiotechnik und theoretischer Physik (oft zusammen mit Papalexi). Mandelstam und Papalexi wurden als Ordentliche Mitglieder der Russischen Akademie der Wissenschaften gewählt.[52]

Die Theoretisierung in der Radiotechnik entsprang zu Beginn aus der Hertzschen experimentellen Arbeit und steuerte fortan immer die Praxis. Die theoretische Systematisierung aller nach den Hertz'schen Versuchen entstehenden Resultate kommt dringend

Exemplar. In anderem Brief von 16. Oktober bedankt er sich für die freundliche Zusendung des Heidelberger Vortrags von H. Hertz (Briefe HS 3032 und HS 3033).

[51] siehe: Anmerkung 26.

[52] Gorelik 2004, c. 932–940 – in Russisch; siehe: http://ggorelik.narod.ru/ADS_Babochki/LIM_VRAN_200410.html.

in Frage, um die neue Generation der Radioingenieure auszubilden. „Die bis zum Ende des ersten Jahrzehnts gelösten Teilprobleme der Fernsprech- und Hochfrequenztechnik schienen auf den ersten Blick wenig inneren Zusammenhang zu haben. Franz Breisig unterzog sich deshalb 1910 der Aufgabe, eine Vielzahl derartiger Fragestellungen auf der einheitlichen Basis der Maxwellschen Gleichungen zu behandeln. Sein Buch „Theoretische Telegaphie“ leitete er mit allgemeinen Grundlagen der theoretischen Elektrotechnik ein, zog daraus Schlussfolgerungen für die Probleme der Telefonie und Telegrafie und gab zum Schluss einen Ausblick auf die theoretische Hochfrequenztechnik. Breisigs Buch machte deutlich, dass die drahtgebundene Telefonie und Telegrafie ebenso wie die junge Funktechnik eine Vielzahl technischer Fragestellungen aufwarfen, aber auch mathematisch fundierte Lösungen brachten, die den Rahmen physikalischer Betrachtungen sprengten. Es belegte erstmalig die Ausweitung der Telegrafie (als Synonym für „Schwachstromtechnik“, d. h. Nachrichtentechnik) zu einer Technikwissenschaft“.[53]

In Russland erscheinen 1907 in Sankt Petersburg die „Wissenschaftliche Grundlagen der drahtlosen Telegraphie“ von A.A. Petrovski in der 1. Auflage.[54] In der 2. Auflage, die 1913 mit gleichem Titel erscheint, verwendet Petrovski schon die exakten mathematischen Darstellungen auch für die Ingenieuraufgaben. Er schreibt in diesem Buch, dass sich die Radiotelegraphie in eine neue Wissenschaftsdisziplin, die die Anwendung der Elektrizität und des Magnetismus zur Praktika, verwandelt“.[55] 1901 wurde A. Popov an das Sankt Petersburger Elektrotechnische Institut, das im Jahre 1886 als Technische Hochschule vom Post-Telegraphie Ministerium Russlands gegründet wurde, als Lehrer des Lehrstuhls für Physik gerufen. 1902–1903 hat er dort ein Spezialkurs der drahtlose Telegraphie vorgelesen. Sein Schüler A.A. Petrovski hat das nach seinem Tod fortgesetzt. Im Jahre 1917 wurde in dem Elektrotechnischen Institut (TH) für einen neuen Lehrstuhl für Radiotechnik Popovs Schüler Professor I. G. Frejman ernannt, der die ersten Lehrbücher, „Kurzüberblick der Grundlagen der Radiotechnik“ und „Lehrkurs zur Radiotechnik“ (1. Aufl.) 1924, (2. Aufl.) 1928), in Russland speziell für dieses Fach verfasste.

In den Jahren 1907–1908 wurden die Gesellschaften für die drahtlose Telegraphie gegründet, in 1913 erschien in den USA eine erste monatliche Zeitschrift „Proceedings IRE“ (IRE = Institute of Radio Engineers). „In Deutschland erschien 1907 die ’Zeitschrift für Schwachstromtechnik’. 1908 folgte das „Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie“. ... An den deutschen technischen Hochschulen war die Schwachstromtechnik nur ungenügend vertreten. Das Jahr 1911 brachte hier eine Wende, als erste deutsche Hochschule errichtete die Technische Hochschule Dresden ein eigenständiges „Institut für Schwachstromtechnik“, Heinrich Barkhausen[56] übernahm die Leitung ... Andere technische Hochschulen folgten diesem Beispiel. Ebenfalls 1911 fand die vorläufig letzte Neu-

[53] Buchheim / Sonnemann 1990, S. 318.

[54] Petrovski 1907.

[55] Petrovski 1913, S. 1. Danach wurde in Russland die ganze Reihe Bücher publiziert. (Siehe z. B. als ersten systematischen Publikationen: Frejman 1924. Berg 1925; u. a.).

[56] Barkhausen hat seine Lehre und seine Bücher nach folgendem Schema aufgebaut: „Theorie der Röhren“ und „Theorie der Schaltungen“. Erstere kann man als die Grundlage für heutige Elektronik bezeichnen und in der Theorie der Schaltungen hat er seine Beiträge in der Zweipoltheorie geleistet wurde. (Siehe: Börner 1989, S. 186–189).

gründung einer nachrichtentechnischen Zeitschrift vor dem Ersten Weltkrieg statt, der „Telegraphen- und Fernsprechtechnik“. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass bis 1914 die Herausbildungsperiode der Nachrichtentechnik zu einer Technikwissenschaft ihren Abschluss fand.[57]

Diese Geschichte ist ein Musterbeispiel (ein historischer Idealtyp) dafür, dass das Zusammenwirken von Theorie und Experiment in der Physik der Ausgangpunkt, einerseits für eine neue technische Entwicklung und Industrie und, anderseits, für eine technische Theorie und wissenschaftlich-technische Disziplin ist.

21.5 Literatur

Aitken, H. G. J.: *Syntony and spark – the origin of radio.* New York: John Wiley & Sons 1976.

Berg, A. I.: *Obshjaja teorija raditekhniki (Allgemeine Theorie der Radiotechnik).* Leningrad 1925.

Börner, H.: Georg Heinrich Backhausen (1881–1956). Lehrer der wissenschaftlichen Nachrichtentechnik. In: Buchheim / Sonnemann 1989, S. 186–189.

Buchheim, G. und R. Sonnemann (Hrsg.): *Lebensbilder von Ingenieurwissenschaftlern. Eine Sammlung von Biographien aus zwei Jahrhunderten.* Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser 1989.

Buchheim, G. und R. Sonnemann (Hrsg.): *Geschichte der Technikwissenschaften.* Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag 1990.

Föppl, A.: *Einführung in die Maxwellsche Theorie der Elektrizität.* Leipzig: Druck und Verlag von B. G. Teubner 1904.

Frejman, I. G.: *Kurs radiotekhniki (Lehrkurs zur Radiotechnik).* Leningrad 1924.

Frick, G.: *Ferdinand Braun (1850–1918). Nobelpreisträger der Physik (1909).* Straßburg: GNT Verlag 1997.

Friedburg, H.: Funkensprünge. Die Entdeckung der elektromagnetischen Wellen. In: *Baden-Württemberg, Themenheft „Funkensprünge. 100 Jahre Radiowellen. Heinrich Hertz“* (1988), Nr. 1, S. 9.

Gamter, H. (Hrsg.): *Reich der Erfindungen.* Reprint von 1901. Bindlach: Gondrom 1998.

Gorelik, G. E.: Leonid Mandelstam i ego shkola. (Leonid Mandelstam und seine Schule.) In: *Vestnik Rossijskoj Akademii Nauk* 2004, [1] 10, c. 932–940.

Gorokhov, Vitaly G.: *Engineering: Art and Science.* Moscow: MIR 1990.

Gorokhov, Vitaly G.: Technikwissenschaft und Ingenieurpraxis. Ansätze einer Allgemeinen Theorie der Mechanismen. In: *Allgemeine Technologie: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft.* Hrsg. von G. Banse und E.-O. Reher. Berlin: Trafo-Verlag 2002.

Hars, Florian: *Ferdinand Braun (1850–1918). Ein wilhelminischer Physiker.* Berlin; Diepholz: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaft und Technik 1999.

[57] Buchheim / Sonnemann 1990, S. 320.

Abbildung 21.11:
Ferdinand Braun (1850–1918), Nobelpreis 1909
http://www.pit.physik.uni-tuebingen.de/braun.html

Herzog, J. und C. Feldmann: *Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze in Theorie und Praxis.* Berlin: Verlag von Julius Springer 1921.

Hertz, Heinrich: Über die elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion. In: *Annalen der Physik und Chemie* (Wiedemanns Annalen), (3. Folge) Band **XXXIV** (1888), N^0 8.

Hertz, Heinrich: Über Strahlen elektrischer Kraft. In: *Annalen der Physik und Chemie* (Wiedemanns Annalen), (3. Folge) Band **XXXVI** (1889), N^0 4.

Hertz, Heinrich: *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft.* Leipzig: Johann Ambrosius Barth 1892.

Kaiser, Walter: Die Entwicklung der Elektrotechnik in Ihrer Wechselwirkung mit der Physik. In: *Naturfassungen in Philosophie, Wissenschaft, Technik.* Hrsg. von L. Schäfer und E. Ströcker. Bd. III. Aufklärung und späte Neuzeit. Freiburg/München: Verlag Karl Alber 1995.

König, Wolfgang: *Technikwissenschaften. Die Entstehung der Elektrotechnik aus Industrie und Wissenschaft zwischen 1880 und 1914.* Chur, Schweiz: G+B Verlag Fakultas 1995.

Kurz, P.: *Weltgeschichte des Erfindungsschutzes.* Köln, Berlin u. a.: Carl Heymanns Verlag KG 2000.

Maier, H.: *Erwin Marx (1893–1980); Ingenieurwissenschaftler in Braunschweig, und die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der elektrischen Energieübertragung auf weite Entfernungen zwischen 1918 und 1950.* Stuttgart: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaft und der Technik 1993.

Mandelstam, L. und N. Papalexi: Ferdinand Braun zum Gedächtnis. In: *Die Naturwissenschaften* (1928), Heft 32.

Mathis, W.: *Theorie nichtlinearer Netzwerke.* Berlin, Heidelberg u.a.: Springer-Verlag 1987.

Nesper, E.: Die ersten deutschen Versuche mit Funkentelegraphie 1897. In: *Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie. Zeitschrift für Hochfrequenztechnik* (1922), Band 19, H. 2.

Petrovski, A. A.: *Nauchny'e osnovani'a besprovolochnoj telegrafii.* St. Petersburg (1-e isd.) 1907.

Petrovski, A. A.: *Nauchny'e osnovani'a besprovolochnoj telegrafii.* St. Petersburg (2-e isd.) 1913.

Röthe, H.: Heinrich Hertz, der Entdecker der elektromagnetischen Wellen. In: *Elektrotechnische Zeitschrift* (1957), H. 7, S. 424.

Stepin, V. S.: Über die Genesis der theoretischen Schemata in der Naturwissenschaft. In: Dürr, R.; Gebauer, G.; Maring, M. und H.-P. Schütt (Hrsg.): *Pragmatisches Philosophieren. Festschrift für Hans Lenk.* Münster: LIT Verlag 2005.

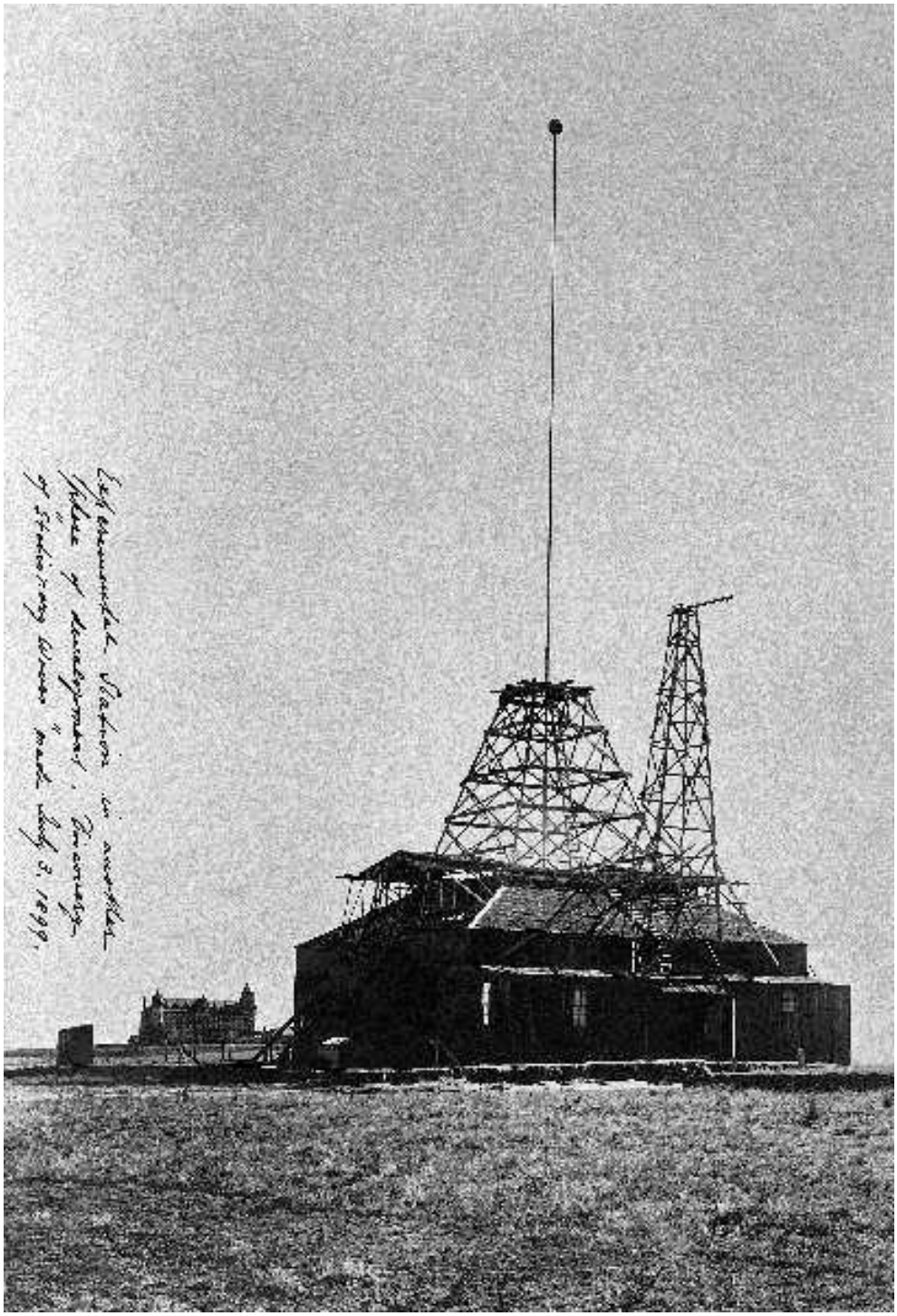


Figure 22.1:
Colorado Springs Laboratory 1899–1900

Nikola Tesla Museum Archive in Belgrade

Nikola Tesla's Contributions to Radio Developments

Aleksandar Marinčič and Zorica Civrič (Belgrade, Serbia)

Abstract: Nikola Teslas Beiträge zur Funk-Entwicklung

Following research and inventions into the field of polyphase low frequency alternating current Nikola Tesla, around 1890, entered into a new field of high frequency currents. After developing novel generators capable of producing higher frequency alternating currents, he turned his attention to generating alternating currents by discharging condenser through a coil coupled to another coil – secondary of „Tesla transformer". In the three famous lectures between 1891 and 1893 he presented many new characteristics and possible uses of high frequency currents: for illumination, in medicine, industry and for wireless energy transmission. For wireless energy transmission, in 1891–1892 he developed connection of generator to antenna-ground through tuned Tesla transformer. In 1893 he disclosed the principle of wireless energy transmission with already explained radio transmitter and receiver tuned to operating frequency of the transmitter. In 1897 Tesla submitted two USA patents on apparatus and system of electrical energy transmission, issued in 1900. These patents were used in the Supreme Court case brought by the *Marconi Wireless Telegraph Company* of America against the United States of America, alleging that they have used wireless devices that infringed on USA Marconi patent of June 28, 1904. After 25 years, the United States Supreme Court on June 21, 1943 invalidated the fundamental American radio patent of Marconi, as containing nothing which was not already contained in patents granted to Lodge, Tesla and Stone. However, in spite of this and many others who are recognizing Tesla as one of the radio pioneers, inventor of the basic radio principle of four tuned circuits, Tesla's name is still waiting the fool recognition of his role in the development of radio.

22.1 Introduction

Scientific research of the most efficient frequency for alternating currents for industrial use is limited to the range between several tens to several hundreds of Hz (Hertz). During

a practical experiment exploring the influence of frequency on the devices he constructed, Nikola Tesla (1856–1943) could generate such currents by changing the rotation speed of the generator. That was probably enough for the first phase of research, but not for further efforts, when he focused attention on the construction of a generator of igher frequency currents. Higher frequency generators require a high pole number, combined with highest permitted rotor speed. Tesla's patents include two original constructions of these machines for the production of alternating currents above 15 kHz. One such machine had about 400 poles on the stator and was designed to operate inaudible arc lamps (Patent No. 447,920) [1]. The rotor turned with the speed of 1500 revolutions per minute. The other machine was made with a specially tailored flat disc rotor and toothed type stator (Patent No. 447,921) [2]. Experiments on those machines revealed new and unknown properties of alternating currents, which were perfectly described by Tesla in his lecture before the American Institute of Electrical Engineers at Columbia College in New York, on May 20, 1891 [3].

The lecture was spectacular as his experiments revealed a new world of high frequency currents and high voltages. In his lecture, Tesla considered the nature of electricity, trying to fathom the essence of the phenomenon. One of the most interesting experiments was "wireless" ignition of air-filled tubes, located in the electric field of the secondary of the resonant transformer without an iron core. That was the "Tesla's high frequency transformer," on which he applied for a patent on April 25, 1891 [4], a month before he delivered the lecture at Columbia College. About this transformer Eccles wrote [5]: *"It was invented not for wireless but for making vacuum lamps glow without external electrodes, and it later played a principal part in other hands in the operation of big spark stations."* Very soon afterwards Tesla, and many others applied this spark-gap high frequency generator in rapidly developing wireless transmission research.

22.2 Tesla Coil

Inductance and capacitance have very important roles in alternating current circuit, and their presence is even more influential in the currents of high frequencies. Tesla was in particular enthusiastic about the role of capacitance and inductance in resonant circuits and he saw many possibilities in them. Using the known effect of oscillatory discharge of a charged Leyden jar (condenser) across the induction coil through electric spark, Tesla replaced the coil with a transformer without an iron core, with loosely coupled inductive secondary and he created a new type of generator, known as the *"Tesla Coil"* or *"Tesla Oscillating Transformer"* or *"Tesla Transformer"*. The mentioned names have been adopted although they are not very accurate, as the name *"Tesla Transformer"* is used for a high frequency transformer with loose coupling between the primary and secondary and without an iron core which usual transformers for low frequency currents have. A complete Tesla oscillator has a special circuit with various types of spark exciters, depending on whether the oscillator is powered by direct current circuit or alternating current of industrial frequencies. It is important to mention that in parallel with the new high frequency current generator, Tesla developed a secondary coil with a high

number of windings without added capacitance, except for the capacitance contained in the free terminal sometimes ending in a metal ball. With no additions, the secondary has its 'own' capacitance and resonates at several frequencies. Tesla knew about this phenomenon and thought that the lowest of these resonances could be calculated if taken that the total length of wire in the secondary coil was about equal to a quarter of the wavelength.

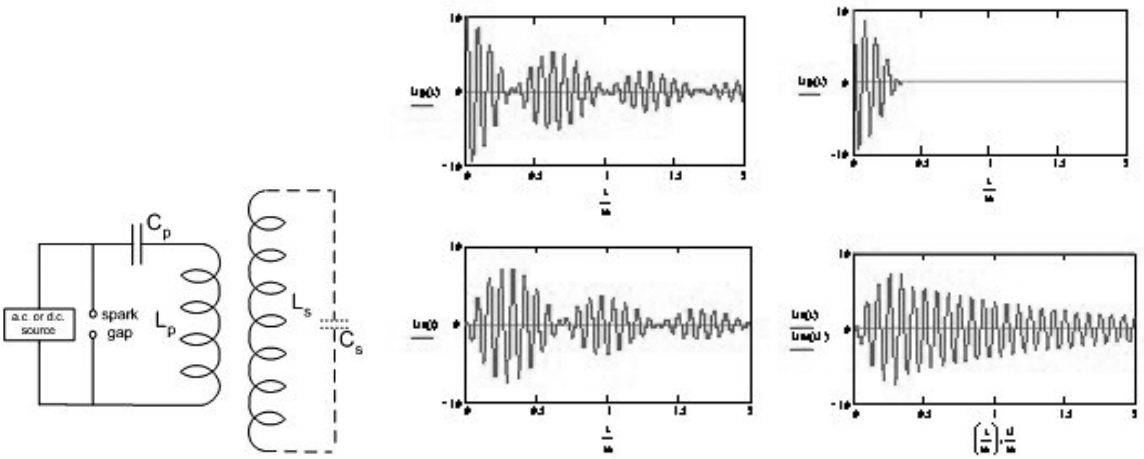


Figure 22.2:
Left: Tesla's high frequency spark-gap generator
Middle: Long spark in the primary circuit
Right: Short spark in the primary circuit

Graphic: Aleksandar Marinčič.

Tesla's oscillator is relatively easily outlined, although its detailed description is extremely complex. In the following analysis we will assume that primary and secondary circuits have been adjusted to the same resonant frequency which is determined by the Thomson formulae

$$\omega_0 = 1/\sqrt{L_p C_p} = 1/\sqrt{L_s C_s} \quad ,$$

which Tesla tried to achieve in his devices (see Fig. 22.2a). We can assume that a source is charging the condenser of primary circuit C_p to a certain voltage V, while storing energy $C_p V^2/2$ in it. A maximum voltage at the terminals of the condenser determines the striking voltage of a spark gap (made of two conducting electrodes separated by a gap). At the moment of attaining of a striking voltage for the selected spark gap, the gap breaks-down and C_p condenser discharges energy through the primary coil of the Tesla transformer. The discharge is oscillatory, and the type of generated electricity depends on inductance and capacitance of the primary and secondary of the transformer and mutual coupling between primary and secondary circuit. A long spark (see Fig. 22.2b) causes the transfer of energy from the primary into secondary and vice versa. In that case, the attained oscillations are two dampened sinusoids, one above and the other

below the selected frequency ω_0. As the coupling is tighter, the difference in sinusoids frequencies is larger. If there is no new excitation – new discharge of energy from the external circuit of the condenser, oscillations stop when the initial energy is consumed and the spark quenches.

In a more convenient case, the spark in the primary would cease to conduct after the energy is transferred to the secondary (see Fig. 22.2c). In this case, there would be no further losses in the primary and the secondary would continue to oscillate at the frequency of the secondary circuit ω_0. Tight coupling between the primary and the secondary shortens the time of transfer of the energy from the primary to the secondary and oscillations of the secondary are closer to the continual sinusoidal current, except in the interval of the energy transfer when two dampened sinusoidal currents are created, one below and the other above frequency ω_0. From the moment when the primary circuit is broken by the cessation of spark, the oscillations in the primary stop and condenser of the primary again charges with the energy from the network. When the voltage in the condenser of the primary again achieves striking voltage V, the oscillation process is repeated. In practice, for fixed secondary circuit of the transformer Tesla changed capacitance and/or inductance of the primary until the sparks in the secondary attained a maximum intensity. He had an excellent feeling for the tuning of his devices regardless of the fact that he did not possess enough theoretical knowledge to fully understand and made the best use of all mentioned complex phenomena. When he invented the Tesla transformer in 1891, there was no theoretical analysis available for this device. It seems that a mathematical analysis of coupled resonance circuits appeared only in 1895 [6].

The performance of the Tesla oscillatory transformer depends on many elements: choice of primary and secondary resonance frequencies, the coupling coefficient, duration time of the spark, number of sparks per second and secondary load. This device still represents a great interest and challenge to many constructors. During Tesla's time it became an inevitable element of every physics laboratory and it still is. Besides its major attraction – attainment of strong sparks in the secondary, the Tesla transformer has found many practical applications in everyday life. Obtaining high voltage for the gasoline engine ignition in cars is one example, obtaining high voltage for television cathode-ray tube and various oscilloscopes are another. Besides these applications, the Tesla transformer is used in the circuits of radio transmitters and receivers, and many other electronic devices of the modern day. The most advanced computer circuits are also based on the application of the Tesla transformer. Modern application of the Tesla transformer does not feature the spark gap switch, as its role was first overtaken by electron tubes and then transistors and other electronic devices of various constructions and powers.

22.3 Alternate Currents of High Potential and High Frequency

At the beginning of 1892, Tesla visited London and Paris talking about his further experiments with alternate currents of high potential and high frequency [7]. He disclosed new achievements in obtaining better operation of his spark-gap high frequency gener-

ator by producing rapid succession of sparks, either by employment of a magnet, air current, simple or multiple air gaps or various design of mechanical interrupters. Many of these inventions were later 'reinvented' by others without referring to Tesla. Another interesting hint on wireless energy transmission Tesla remarked in demonstrating high frequency driven motors through a single wire: *"It is quite possible, that such 'no wire' motors, as they might be called, could be operated by conduction through the rarefied air at considerable distances. Alternate currents, especially of high frequencies, pass with astonishing freedom through even slightly rarefied gases. The upper strata of air are rarefied. To reach a number of miles into space requires the overcoming of difficulties of a merely mechanical nature. There is no doubt that with the enormous potentials obtainable by the use of high frequencies and oil insulation luminous discharges might be passed through many miles of rarefied air, and that, by thus directing the energy of many hundreds or thousands of horse-power, motors or lamps might be operated at considerable distances from stationary sources".*

As the main subject of the lecture was light production, he did not continue to talk about wireless transmission but turned to description of many types of single electrode bulbs [8], [9]. He produced many bulbs with buttons of carborundum and believed that they can produce even 20 times more light by means of currents of very high frequencies as compared with the light produced by the present incandescent light by the same expenditure of energy. At the end of the lecture Tesla again returned to transmission without wires and wondered why with the existing knowledge and experience gained, no attempt is being made to disturb the electrostatic or magnetic condition of the earth, to *"transmit, if nothing else, intelligence".*

In 1891–1892 Tesla investigated many connections of high frequency generator to an elevated conductor and ground while investigating wireless, through the earth transmission. More details about this work can be found in the pre-hearing interview with Nikola Tesla by his legal councel in 1916 [35]. A Tesla's slide, found in the Nikola Tesla Museum in Belgrade, shown in Fig. 22.3, illustrate the developments from direct connections to terminals of the generator, through various modifications aimed at increasing the current through the antenna, until finally he tested the use of his high frequency resonant transformer. In his statement Tesla said *"That was in 1891, prior to my going to England to lecture before the scientific societes there, the Royal Institution and the Institution of Electrical Engineers. I had a wire run out through the window, and placed on the roof all sorts of devices to constitute this capacity ... My idea at that time was that I would disturb the electrical equilibrium in the nearby portions of the earth, and the equilibrium being disturbed, this could then be utilized to bring into operation in any way some instrument. That was what we would now call, simply, impressing forced vibrations of very high frequency on an antenna. We have introduced the term 'antena' since that time."* Unfortunatelly, Tesla did not patent any of these connections at that time.

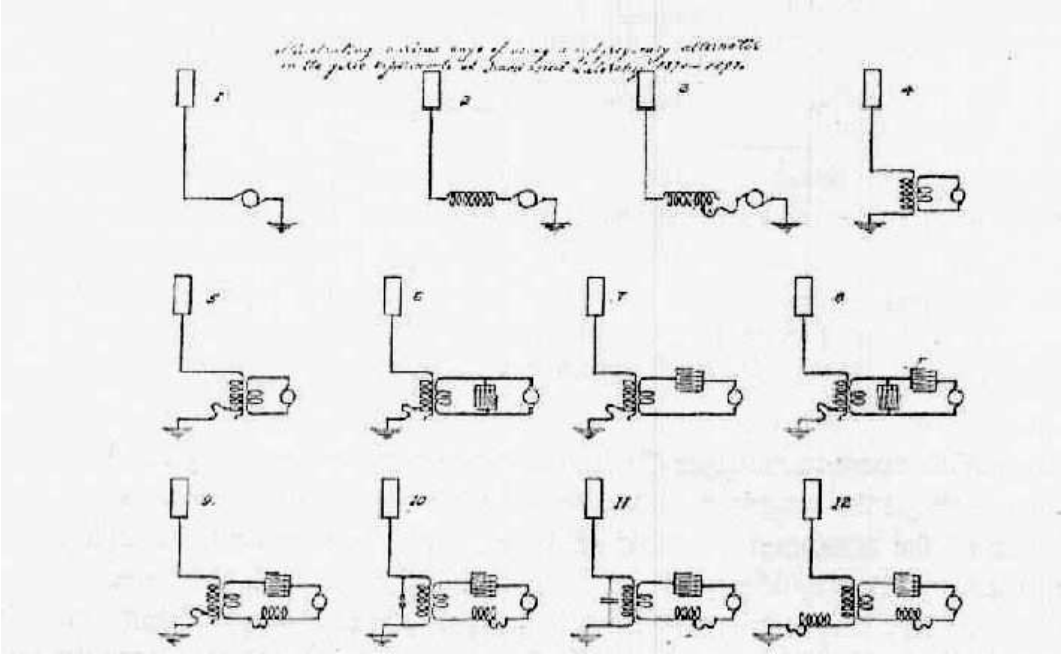


Figure 22.3:
Various connections of generator to antenna-ground system from 1891–1892.
Nikola Tesla Museum Archive in Belgrade

22.4 Basic Tesla's radio scheme

The third Tesla's lecture in the field of high frequency currents *"On light and other high frequency phenomena"* before the Franklin Institute in Philadelphia, February 1893, is very important as in it Tesla disclosed the basis of modern radio [10]. In the introductory part Tesla expressed his admiration to eye, the organ which is *"the most precious, the most indispensable of our perceptive or directive organs, it is the great gateway through which all knowledge enters the mind. Of all our organs, it is the one, which is in the most intimate relation, that it is often said, the very souls shows itself in the eye"*.

Developing further his ideas about energy transmission, Tesla explained his numerous experiments with "single wire transmission". To the upper terminal of his generator, Tesla connected various coils coupled with incandescent lamps, h. f. motors through a single wire with no return. Describing many fascinating experiments with resonance effects Tesla said:

> *"In connection with resonance effects and the problem of transmission of energy over a single conductor which was previously considered, I would say a few words on a subject which constantly fills my thoughts and which concerns the welfare of all. I mean the transmission of intelligible signals or perhaps even power to any distance without the use of wires ... The idea of trans-*

mitting intelligence without wires is the natural outcome of the most recent results of electrical investigations."

Tesla's assumption about electrical charge of the Earth, that if disturbed will oscillate and transmit energy, lead him to seek for the period of the Earth charge oscillation:

"One of the terminals of the source would be connected to earth as, for instance, to the city water mains, the other to an isolated body of large surface. It is possible that the outer conducting air strata, or free space, contain an opposite charge and that, together with the earth, they form a condenser of very large capacity. In such case the period of vibration may be very low . . . "

22.5 Tesla's four tuned circuits

The fire that destroyed Tesla's laboratory in New York on March 1895, postponed his further experiments not only on radio but also on electrical lighting and X-ray investigations. That is why he submitted two basic radio patents on September 2, 1897 [11], [12], a year after Marconi [13] submitted patent based on Hertz's transmitter with Tesla's antenna-ground connection instead of connection to a symmetrical dipole as in the original Hertz's transmitter. For the history of radio technique of special importance is the second of the two Tesla's patents, protecting the appliance for wireless transmission of energy, known as *"System of Four Adjusted Circuits to Resonace"* and shown in Fig. 22.5. That patent was a long court dispute launched by Marconi Co., vs United States, adjudged in 1943 in favor of Tesla annuling Marconi's American patent No. 763,772 registered in 1904, because it contained nothing new compared to the patents of Lodge, Tesla and Stone (see: United States Reports, vol. 320, Oct. 1942, Oct. 1943, Washington, MARCONI vs U. S.).

A year after Tesla's lecture in 1893, Oliver Lodge transmitted Hertzian waves over a distance to a receiver with a symmetrical dipole antenna connected to a coherer. Popov demonstrated in 1895 a somewhat improved taping coherer with vertical wire as antenna and earth connection instead of symmetrical dipole used by Hertz and Lodge. In 1896, Marconi came to England with his improved apparatus and continued experiments in 1896/97 with the transmitter shown in Fig. 22.4, bottom, and with a coherer placed between the receiving antenna and ground. The coherer in each apparatus required to be taped (de-cohered) after receiving a pulse that made it conducting. In all these receivers no resonance was used at the receiving side and the operating frequency depended on the size and capacitive load of antenna. Tesla's basic radio patents invention comprises four tuned circuit system: the transmitter had one closed and one open resonant system, receiver had one open and one closed resonant circuit. This invention is illustrated on a slide found in the Archive of Nikola Tesla Museum in Belgrade (see Fig. 22.5).

During the years 1896 and 1897, researchers in all parts of the world discussed wavelengths appropriate to wireless telegraphy. It was known that Lodge and Righi oscillators produced damped waves of few centimeters that of Hertz waves of a few meters and waves several kilometers long by Tesla.

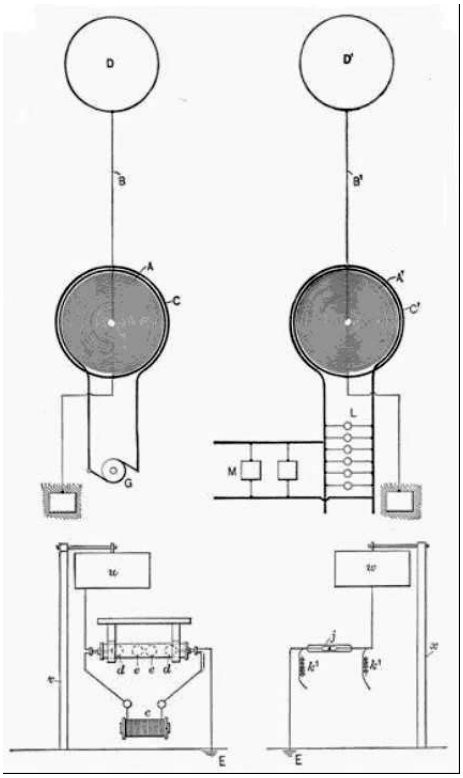


Figure 22.4:
Tesla's system of four tuned circuits [pat. No. 11, 12 – 1897]
and Marconi's system (British Patent 12.039, July 2, 1897)
Application to all these patents are filed in 1897.

Erskine-Murray (1913), Marconi (1897).

In explaining the operation of his radio system announced in 1893, Tesla came with his original theory, explaining that his system is not producing significant free-space radiation, but that it makes use of conduction by disturbing the electrostatic charge along the earth surface. In the early days of radio, some writers, misled by Tesla's explanations of wireless propagation, made distinction between the Tesla and Marconi systems [14]! Today we know that this was wrong view and that Tesla's experiments were also early attempts to use ELF propagation mode [15].

22.6 Remote Control by Radio

Nikola Tesla's invention of remote control by radio waves appeared in the early phase of radio development. It followed his work on "Tesla coil and oscillation transformer (1889–1892), researches and experiments with currents of high frequency (1889–1898) and Tesla Wireless System (1891–1893)".

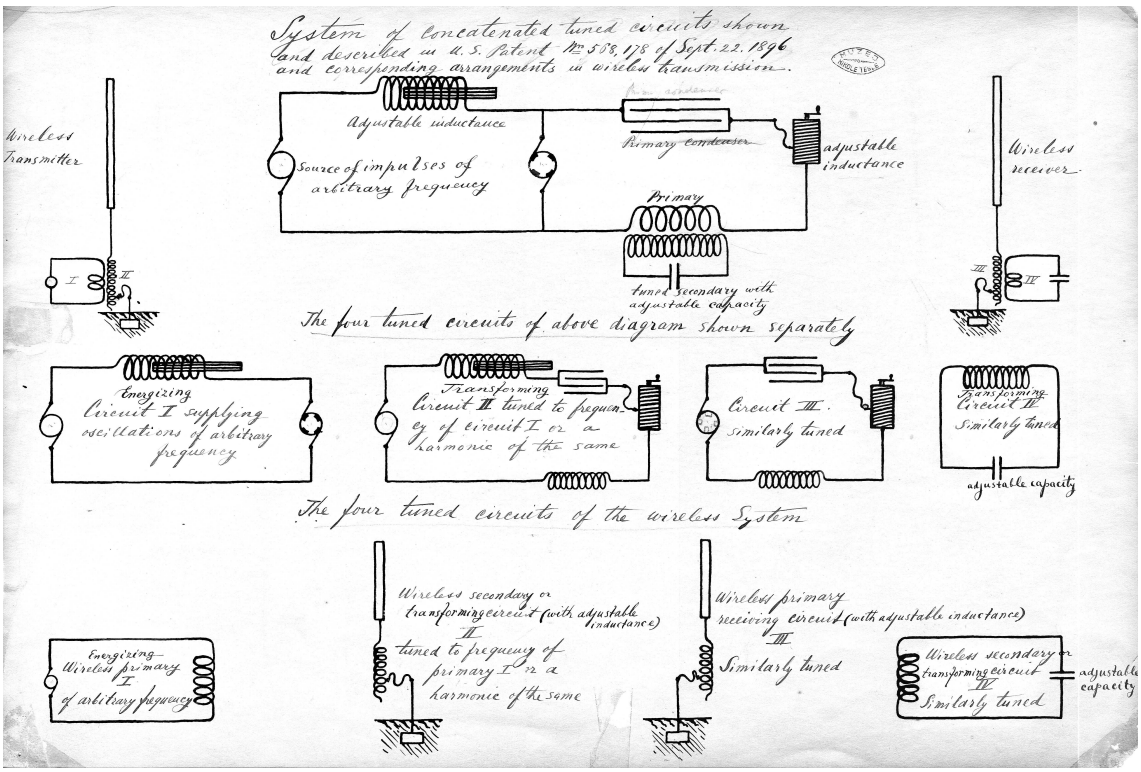


Figure 22.5:
Four tuned circuits Tesla's radio system
Nikola Tesla Museum Archive in Belgrade

On July 1, 1898 Tesla filed USA patent application and in just over four months, the patent on *"Method of and Apparatus for Controlling Mechanism of Moving Vessels"* was granted to him [16]. In 1898, he was demonstrating wireless control of model ships and predicting the imminent completion of a system that could transmit both power and intelligence over long distance without wires [17]. The principle he was developing was applicable to *"any kind of machine that moves on land or in the water or in the air"*, and to show this to an audience he constructed a boat (Fig. 22.6). In connection with the question of control signal transmission, among other possibilities he wrote:

> *"Another way to carry out my invention is to direct currents or discharges of a high-frequency machine or condenser through a circuit one terminal of which is connected directly or inductively with the ground and the other to a body, preferably of large surface and at an elevation ... Again, to secure the best action the receiving circuit should be adjusted so as to be in electromagnetic synchronism with the primary source ...."*

As the patent was issued on Nov. 8, 1898, this mention of the use of resonance between transmitting and receiving circuit appeared in public earlier than in his basic radio patent applied on September 2, 1897 [12] and issued on May 15, 1900. It should be remembered

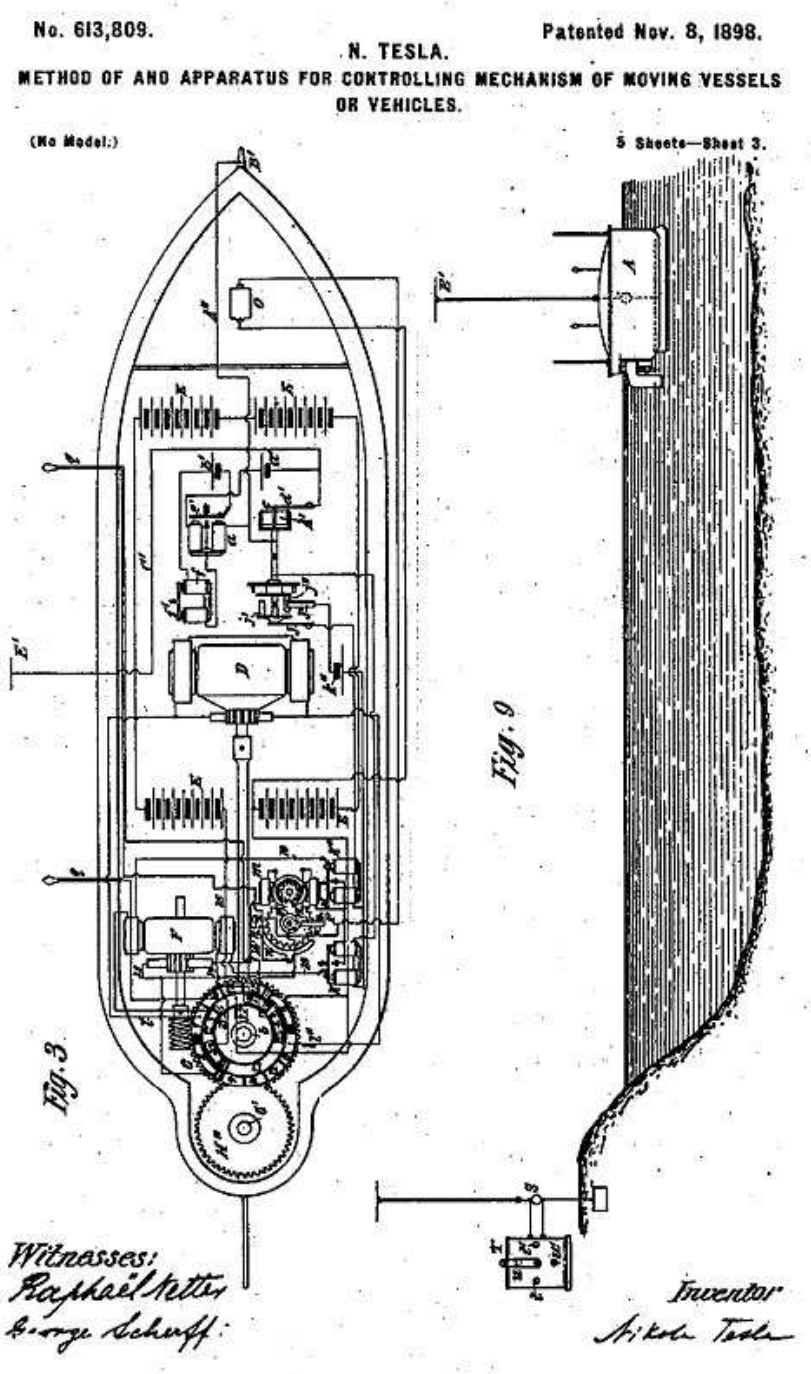


Figure 22.6:
Radio controlled boat

Tesla's patent picture

that the use of resonance between transmitting and receiving devices was suggested by Tesla in his 1893 lecture [10].

Tesla performed some work on remote control in his laboratory in 35, South Fifth Avenue. When this laboratory burned down in March 1895, it was a terrible blow to him. Many experiments were stopped until the end of 1895, when he opened a new laboratory on 46, East Houston Street. In this laboratory he made, in his own words:

> *"Striking demonstrations, in many instances actually transmitting the whole motive energy to the devices instead of simply controlling the same from distance. In '97 I began the construction of a complete Automaton in the form of a boat, which is described in my original specification #613,809 ... This application was written during that year but the filing was delayed until July of the following year, long before which date the machine had been often exhibited to visitors who never seized to wonder at the performances ... In that year I also constructed a larger boat, which I exhibited, among other things, in Chicago during a lecture before the Commercial Club. In this lecture I treated the whole field broadly, not limiting myself to mechanisms controlled from distance but to machine possessed of their own intelligence. Since that time I have advanced greatly in the evolution of the invention and think that the time is not distant when I shall show an automaton which, left to itself, will act as though possessed of reason and without any willful control from the outside. Whatever be the practical possibilities of such an achievement, it will mark the beginning of a new epoch in mechanics."* [18].

After submitting USA patent on the apparatus and system for controlling moving objects, in the following 14 months Tesla submitted patents in ten other countries, but it had to be many years before remote control became operative!

Tesla's patent claims [16] did not reflect all what he already knew at that time about new technique of remote control. His friends suggested him to omit quite a few things that he thought important in order not to overload the patent claims. In a letter to Benjamin Miessner [18] (1890–1976) Tesla wrote:

> *"I would call your attention to the fact that while my specification, above mentioned, shows the automatic mechanisms as controlled through a simple tuned circuit, I have used individualized control; that is one based on the co-operation of several circuits of different periods of vibration, a principle which I had already developed at that time and which was subsequently described in my patents #723,188 and 723,189 of March, 1903. The machine was in this form when I made demonstrations with it in 1898 before the Chief Examiner, Seeley, prior to grant of my basic patent on Method of and Apparatus for Controlling Mechanisms at a Distance."*

In original USA patent No. 613,809 Tesla omitted to describe his "individualized control" which was a great step forward in providing safe and protected from disturbance control, as compared to simple mechanism control he described in his remote control

boat patent. When at a later date, on July 16, 1900, he submitted patents "Method of signalling" [19] and "System of Signalling" [20] protecting his method and system of "individualization", prior to obtaining patent, he had to clear matter with Reginald Aubrey Fessenden (1866–1932) in a patent rights dispute [21]. This document included statements in favor of Tesla by his assistant Fritz Loewenstein and secretary George Scherff. Finally, in March 1903 Tesla obtained patent after more than five years from the moment he had developed and experimentally proved the invention of individualization. The basic invention of "individualized control" is described in Colorado Springs Notes 1899–1900 on June 27, 1899 [22]. In short, the claim in his patent [20] was:

> *"In a system for the transmission of electrical energy, the combination with means for producing two or more distinctive kinds of disturbances or impulses, of receiving circuits, each tuned to respond to the waves or impulses of one kind only, and the receiving device dependent for operation upon the conjoint action of the several receiving circuits, as set forth."*

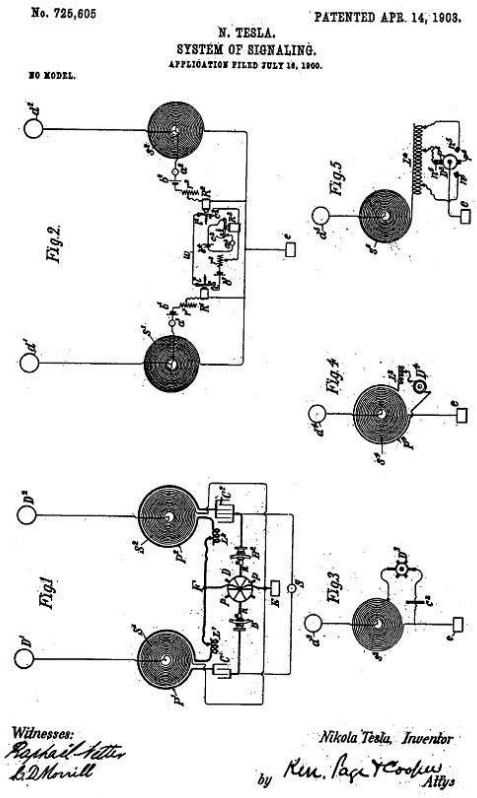


Figure 22.7:
Patent of individualized control
based on two transmitters and special receiver

Tesla's patent picture

The receiving circuit had two receivers and only when both received signal, the main relay operates (see Fig. 22.7). The logic in Tesla's individualized receiver is the original appearance of the "AND" logic, and the whole system is a kind of spread-spectrum technique [23]! Another interesting receiver is the one that rectify received signal and charge a capacitor periodically discharging it through a receiving device [24]. Today, we call this type of receiver 'integrate and damp receiver' and it is used to improve signal to noise ratio after the detection of signal. Tesla used it to magnify input signal by integration. Around 1900 Tesla was already developing continuous radio systems at the time when others were developing the early spark telegraphy!

22.7 Colorado Springs Laboratory

Continuing his work on high frequency, very high voltages Tesla in 1899 moved to a new laboratory in Colorado Springs (see Fig. 22.1). Tesla arrived on May 18, 1899, with the intention of carrying out intensive research in wireless telegraphy and properties of the upper atmosphere. In his article written upon his return to New York [2], [5], he writes that he came to Colorado Springs with the following goals:

- To develop a transmitter of high power;
- To perfect means for individualizing and isolating the energy transmitted;
- To ascertain the laws of propagation of currents through the earth and the atmosphere.

The diary [22] which Tesla kept at that time gives a detailed day-by-day description of the research in the period June 1, 1899 to Jan. 7, 1900. Unlike many other records in the archives of Nikola Tesla Museum in Belgrade, the Colorado Springs diary is continuous and orderly. Since it was not intended for publications, Tesla probably kept it as a way of recording his research results. It could perhaps also have been a safety measure in case the laboratory gets destroyed, an eventuality by no means unlikely considering the dangerous experiments he was performing with powerful discharges. Immediately after finishing work at Colorado Springs Tesla wrote a long article entitled *"The problem of increasing human energy"* [2], [5] in which he often mentions his results from the Colorado Springs. The article really did create a sensation, and was reprinted many times. At the beginning of twentieth century Tesla believed that he is ahead of all others in developing wireless transmission not only for messages but also of energy in a more significant amount for other uses.

22.8 Between Colorado Springs and Long Island

After returning from Colorado Springs and before moving to a new laboratory in Long Island Tesla wrote again notes – not regularly as in Colorado Springs, especially not in 1900, and somewhat more in the first half of 1901. As the notes are mainly written on

memorandum of the Waldorf – Astoria hotel in New York he wrote them either in New York or in Long Island when he was visiting future site of his Wardenclyffe laboratory. In June 1902, Tesla moved his laboratory operations from his Houston Street laboratory to Wardenclyffe.

In this intermittent period Tesla elaborated his "system of transmission through the Earth". In his attempts to obtain good contact with the ground he tried a possibility to use a conductive ball placed in the ground and surrounded by a conducting enclosure. In this way he obtained neutral point away from the imperfect ground. It is interesting to know that similar requirement about the length of wire "from ground to top" appears in his patent "Art of transmitting electrical energy through natural media", applied May 16, 1900, renewed June 17, 1902 and issued as US patent No. 787,412, dated April 18, 1905 [26]. In that patent he also stated "that the planet behaves like a perfectly smooth or polished conductor of inappreciable resistance with capacity and self induction uniformly distributed along the axis of symmetry of wave propagation and transmitting slow electrical oscillations without sensible distortion and attenuation". In this period Tesla made many calculations of energy transmission between two (or more) elevated metal bodies (antennas) trying to convince him that his approach can be used in transmission of energy in larger amounts than those for message transmission only. In all these considerations he assumed transmission between resonant structures, one at the transmitter in order to get highest possible voltage at the metal body (see Fig. 22.8) and the other at the receiving side.

22.9 Long Island Plant

When finally he moved to Wardenclyffe he started fitting out a new laboratory (see Fig. 22.9). From his subsequent notes we learn that he intended to verify his ideas about the resonance of the Earth's globe, referred to in a patent of 1900 [26]. The experiments he wanted to perform were not in fact carried out until the sixtieth of the last century, when it was found that the Earth resonates around 8, 14 and 20 Hz [27]. Tesla predicted that the resonance would be 6, 18 and 30 Hz.

In a letter to Morgan [27] early in 1902 Tesla explained his research, in which he envisaged three "distinct steps to be made:

> *"The transmission of minute amounts of energy and the production of feeble effects, barely perceptible by sensitive devices;*
> *The transmission of notable amounts of energy dispensing with the necessity of sensitive devices and enabling the positive operation of any kind of apparatus requiring a small amount of power; and*
> *The transmission of power in amounts of industrial significance. With the completion of my present undertaking the first step will be made."*

For the experiments with transmission of large power he envisaged the construction of a plant at Niagara to generate about 100 million volts [29]. However, Tesla did not succeed in getting the necessary financial backing, and after three years of abortive

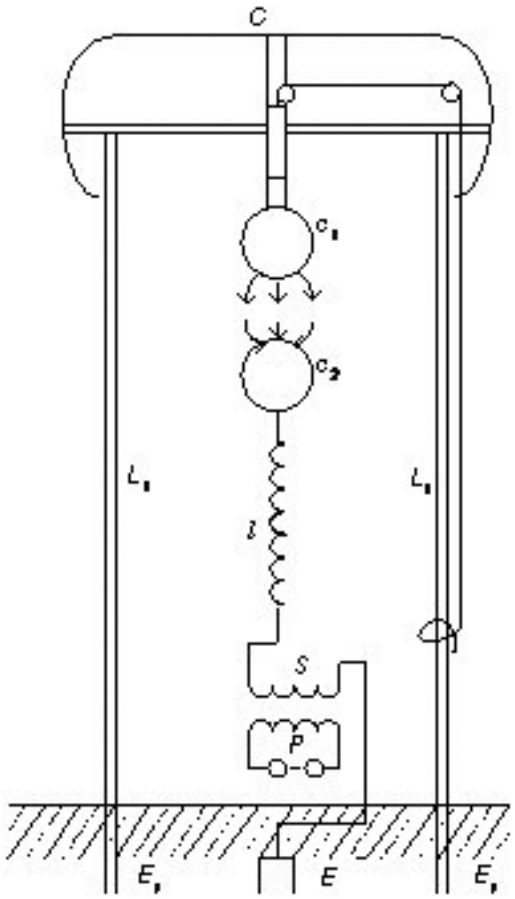


Figure 22.8:
Sketch of future antenna tower (May 29, 1901)
Nikola Tesla notes after Colorado Springs

effort to finish his Long Island Station he gave up his plans and turned to other fields of interest. He remained convinced to his death that the wireless transmission of energy would one day become reality. Today, when we have proof of the Earth's resonant modes (Schumann's resonance), and it is known that certain waves can propagate with very little attenuation, so little that standing wave can set up in the Earth-ionosphere system, we can judge how right was Tesla when he said that the mechanism of electromagnetic wave propagation in "his system" was not the same as in Hertz's system with collimated radiation. Naturally, Tesla could not have known that the phenomena he was talking about would only become pronounced at very low frequencies, because it seems he was never able to carry out the experiments which he had so brilliantly planned, as early as in 1893 [10]. It is gratifying that after so many years Tesla's name is rightfully reappearing in papers dealing with the propagation of radio waves and the resonance of the Earth. For example, Jackson [30] in his electromagnetic book stated that: *"this*

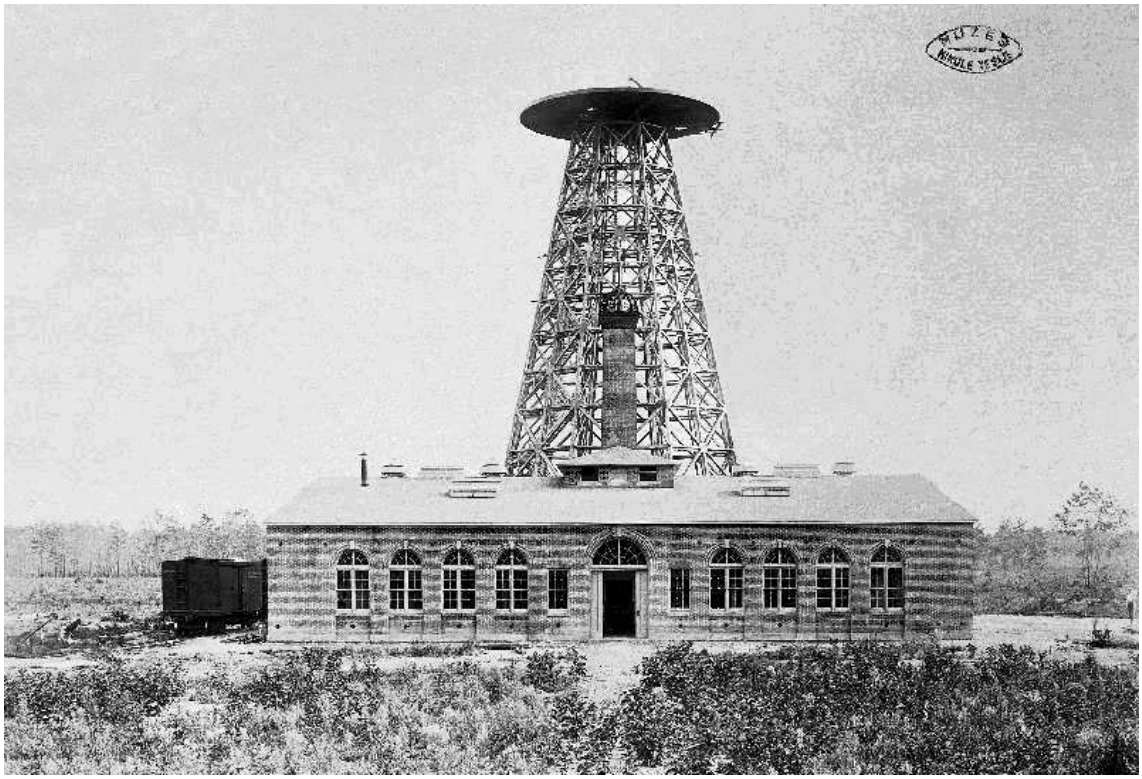


Figure 22.9:
Long Island Plant 1902–1906.

Nikola Tesla Museum Archive in Belgrade

remarkable genius clearly outlines the earth as a resonating circuit [he did not know of the ionosphere]*, estimates the lowest resonant frequency as 6 Hz* [close to 6.6 Hz for a perfectly conducting sphere]*, and describes generation and detection of these waves. I thank V. L. Fitch for this fascinating piece of history."*

The last patent in connection with radio transmitters Tesla submitted on Jan. 18, 1902 [31], renewed May 4, 1907 and issued Dec. 1, 1914. This patent is extension of patents from 1897 [11], [12], with improvements that enable safe operation of apparatus for transmission of electrical energy with antenna charged to a high potential.

In Archives of Nikola Tesla Museum in Belgrade there are a number of various high voltage antenna designs that Tesla prepared in patent drawings form. Some of these were published in 1993 [32].

22.10 Conclusions

Investigations in the field of high frequency alternating currents and wireless energy transmission Tesla started in 1890–1891. In a short period of time Tesla delivered three famous lectures before scientists and experts in USA, England and France. From unex-

pected behaviour of these currents in comparisson to low frequency alternating currents, supported by many experiments, Tesla gradually increased his conviction that these currents can be used for efficient illumination, in medicine and in wireless transmission of electrical energy. Tesla thought that the Earth conductive properties and insulating properties of the atmosphere can be used for transmission of not only small amounts required in message transmission but also in larger amounts. His hypotetical assumption was that by using very high voltages and antenna of considerable height we can reach rarefied air, that is also conductive, and provide a system that can transmitt high power at any distance. In spite of many practical obstacles and dangers in operation of such a hypothetical system, Tesla's basic plan presented in 1893 and patented apparatus, based on his four tuned circuit system from 1897 are in fact the base of modern radio in manu respects. In spite of that Tesla's contribution to the development of radio have been overlooked by many historian of radio.

History of radio has been subject of many researchers after historic Hertz's experiments in 1887. The work of Hertz proved the reasoning of Maxwell, who was the first who fully understood what is the nature of electromagnetic radiation. Early historian of science witnessed radio development and followed research of Amos Dolbear (1837–1910), Branly, Lodge, Tesla, Popov, Marconi, Slaby, Fessenden, De Forest, etc. At that time the theory of radio wave propagation was in infancy and that explains why some of them carefully presented Marconi's and Tesla's patents leaving readers to comment on priorities [14]. In spite that Tesla was considered as a radio pioneer [33] and, by many, important researcher in the field of radio, his name was not mentioned among "Six Great Pioneers of Radio" in EBU report [34].

22.11 References

1 Tesla, Nikola: *Method of operating arc lamps.* U. S. patent, 447,920, Mar. 10, 1891, applied on Oct. 1, 1890.

2 Tesla, Nikola: *Alternating electric current generator.* U. S. patent, 447,921, Mar. 10, 1891, applied on Nov. 15, 1890.

3 Tesla, Nikola: *Experiments with alternate currents of very high frequency and their application to methods of artificial illumination.* Lecture delivered before A.I.E.E. at Columbia College, May 20, 1891; republished many times after publication in: *Electrical Engineer* New York 1891, July 8, pp. 25–48.

4 Tesla, Nikola: *System of electric lighting.* U. S. patent, 454,622, June 23, 1891, applied April 25, 1891.

5 Eccles, W. H.: *Wireless.* London: Thornton Butterworth Limited 1933.

6 Oberbeck, Anton: Ueber der Verlauf der Elektrischen Schwingungen bei den Tesla'schen Versuchen. In: *Wiedener Annalen der Physik* **Vol. 55** (1895), S. 623.

7 Tesla, Nikola: *Experiments with Alternate Currents of High Potential and High Frequency.* Lecture delivered before the I.E.E., London, February 3, 1892 and Royal Institute, London, February 4, 1892. First published in *Journal of I.E.E. London* **Vol. 21** (1892),

No. 97, pp. 51–163, and repeated many times in USA and Europe. The lecture was also delivered twice in Paris, France, and published in *La Lumiere Electrique* (1892), republished many times.

8 Tesla, Nikola: *Electric Incandescent Light.* Patent No. 455,069, June 30, 1891, Application filed May 14, 1891.

9 Tesla, Nikola: *Incandescent Electric Light.* Patent No. 514,170, Feb. 6, 1894. Application filed January 2, 1892.

10 Tesla, Nikola: *On Light and other High Frequency Phenomena.* Lecture before the Franklin Institute, Philadelphia, Feb. 1893, and before the National Electric Light Association, St. Louis, March 1893.

11 Tesla, Nikola: *System of Transmission of Electrical Energy.* Patent No. 645,576, Mar. 20, 1900. Application filed September 2, 1897.

12 Tesla, Nikola: *Apparatus for Transmission of Electrical Energy.* Patent No. 649,621, May 15, 1900. Original application filed September 2, 1897.

13 Marconi, Guglielmo: *Improvements in transmitting electrical impulses and signals and in apparatus there-for.* British Patent 12.039, July 2, 1897.

14 Erskine-Murray, J.: *A Handbook of Wireless Telegraphy.* London: Crosby Lockwood 1913.

15 Wait, J. R.: *Historical background and introduction to special issue on extremely low frequency (ELF) propagation.* IEEE Transaction on Communications, COM-22, No. 4, April 1974.

16 Tesla, Nikola: *Method of and Apparatus for Controlling Mechanism of Moving Vessels.* Patent No. 613,809, Nov. 8, 1898, applied July 1, 1898.

17 Aitken, Hugh G. J.: *The Continuous Wave: Technology and American Radio, 1900–1932.* Princeton, NJ: Princeton University Press 1985.

18 Tesla, Nikola: Letter to Benjamin Miessner, Sept. 29, 1915. Archives, Nikola Tesla Museum, Belgrade.

19 Tesla, Nikola: *Method of Signaling.* Patent No. 723,188, Mar. 17, 1903, Original application filed July 16, 1900. Divided and this application filed June 14, 1901.

20 Tesla, Nikola: *System of Signaling.* Patent No. 725,605, Apr. 14, 1903, Original application filed July 16, 1900.

21 Testimony in behalf of Tesla, Interference No. 21,701, United States Patent Office, New York 1902.

22 Tesla, Nikola: *Colorado Springs Notes 1899–1900.* Introduction and Commentaries by Aleksandar Marinčič. Belgrade: Nolite 1978.

23 Sarkar, Tapan K.; Mailloux, Robert J.; Oliner, Arthur A.; Salazar-Palma, Magdalena and Dipak L. Sengupta (eds): *History of Wireless.* Marinčič, Aleksandar: Nikola Tesla's Contributions to Radio Developments. New York: John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey 2006, Chapter 8.

24 Tesla, Nikola: *Method of Intensifying and Utilizing Effects Transmitted through Natural Media.* Patent No. 685,953, Nov. 5, 1901, application filed June 24, 1899.

25 Tesla, Nikola: The problem of increasing human energy. In: *Century Illustrated Monthly Magazine* June 1900.

26 Tesla, Nikola: *Art of Transmitting Electrical Energy Through the Natural Mediums.* Patent No. 787,412, April 18, 1905, application filed May 16, 1900.

27 Galeys, J.: *Terrestrial Propagation of Long Electromagnetic Waves.* New York: Pergamon Press 1972.

28 Tesla, Nikola: Letter to John Pierpont Morgan, Jan. 9, 1902. Archive of Nikola Tesla Museum in Belgrade.

29 Tesla, Nikola: The Transmission of Electrical Energy without Wires. In: *Electrical World and Engineer* (1904), March 5.

30 Jackson, John David: *Classical Electrodynamics.* New York: John Wiley 1975.

31 Tesla, Nikola: *Apparatus for Transmitting Electrical Energy.* Patent No. 1,119,732, Dec. 1, 1914, appl. Jan. 18, 1902.

32 Marincic, Aleksandar: Nikola Tesla Contribution to the Development of Radio. In: *IEEE Microwave Theory and Technique Society Newsletter* **133** (1993).

33 Hawks, Elliso: *Pioneers of Wireless.* London: Methuen & Co. Ltd. 1927.

34 *Six Great Pioneers of Wireless.* EBU Technical Review, No. 263, Spring 1995, pp. 82–96.

35 Anderson, Leland I.: *Nikola Tesla On His Work With Alternating Currents and Their Application to Wireless Telegraphy, Telephony, and Transmission of Power.* Denver: Sun Publishing 1992.

Figure 23.1:
Guglielmo Marconi and his message to the *NVVR* on its 10^{th} anniversary

Highlights of amateur radio in the Netherlands to 1926

Richard Strom (Amsterdam, The Netherlands)

Abstract: Höhepunkte von Amateurastronomie in den Niederlanden bis 1926

In the early twentieth century, the PTT (Post Office) had a monopoly on telegraphy in the Netherlands, the Marconi Company dominated overseas wireless communication, and private use of the airwaves was illegal. While this would seem to be an unpropitious climate for potential radio amateurs, the fatal attraction of something intriguing (and forbidden) proved irresistible to a significant minority. Early hobbyists listened in to Marconi messages before 1910, and followed the comings and goings of ships at sea. Anecdotes from these early days have been preserved in the writings of pioneers such as Jan Corver and A. H. de Voogt. Because private use of the radio was banned, De Voogt built ingenious collapsible antennas which could be erected and dismantled in seconds. Grassroots pressure for the ban on private use of the airways to be lifted grew, and in 1913 there was a meeting on the utility of radio for private users where both De Voogt and Corver spoke. It attracted widespread publicity, and several months later Corver was able to demonstrate to the Minister of Transport, C. Lely, that by combining several freely available items, he would be breaking the law on radio. Intrigued, Lely let him demonstrate, and from a spool of wire, earphones and other paraphernalia in his pockets, Corver assembled a simple receiver which could pick up Radio Scheveningen. Lely agreed that the law forbidding private use of radio was an anachronism. In 1914 the ban was abrogated, only to be re-imposed at the end of the summer when the war broke out. Frustrated, the radio enthusiasts banded together and in 1916 formed the *Dutch Society for Radio-Telegraphy* (*NVVR*). Two years later the *NVVR* organized the 1st Dutch Radio Exhibition in The Hague, which attracted 1500 people a day including the Queen and several ministers – an enormous success. The membership of the *NVVR* grew dramatically in this period, further stimulated by the early broadcasts of H. Steringa Idzerda. His regular Radio Soirée-musicale programs (station PCGG, 1919–1924) were arguably the first commercial broadcasts anywhere. By the mid-1920s, public broadcasting in the Netherlands began in earnest, private individuals were finally allowed to own radio equipment, and the *NVVR* celebrated its 10th anniversary: the pioneering days of amateur radio were over.

23.1 Introduction

If there is one scientist/engineer whose name is eternally linked to wireless communication, then that is undoubtedly Marconi. To call him or any individual the inventor of radio would be going too far, for the techniques developed around the turn of the twentieth century depended upon the ingenuity of more than one. But the awarding of the 1909 Nobel Prize for Physics to Guglielmo Marconi (1874–1937) and Carl Ferdinand Braun (1850–1918) demonstrates both the esteem which their contemporaries had for the two men, and the perception that wireless had not been the brainchild of one person. In his introduction to the award of the 1909 Prize, the President of the Royal Swedish Academy of Sciences placed the achievement in context:

> *It was Faraday with his unique penetrating power of mind, who first suspected a close connection between the phenomena of light and electricity, and it was Maxwell who transformed his bold concepts and thoughts into mathematical language, and finally, it was Hertz who through his classical experiments showed that the new ideas as to the nature of electricity and light had a real basis in fact. ... Hertz ... was the first to demonstrate that the effects of* [oscillatory] *currents propagate themselves in space with the velocity of light, thereby producing a wave motion having all the distinguishing characteristics of light. This discovery – perhaps the greatest in the field of physics throughout the last half-century – was made in 1888. It forms the foundation, not only for modern science of electricity, but also for wireless telegraphy.* (Hildebrand 1967: 193).

Surely if Hertz had still been alive,[1] his work would have also been recognized with a Nobel Prize, possibly shared with Marconi and Braun.

Guglielmo Marconi[2] was born in Bologna in 1874. His father Giuseppe (1826–1904) was a landowner, and his mother Annie Jameson (1843–1920) was a member of the well-known Irish whisky distiller family. Guglielmo's youth was spent in England and Italy, resulting in rather disjointed schooling in both countries. As a child he was said to be interested in things mechanical. His failure to qualify for the Italian Naval Academy marked the end of formal academic training. With time on his hands, he began to carry out scientific experiments in the family villa Griffone, and in this he was encouraged by his mother and older brother.

Although Marconi (Fig. 23.1) had no formal university education, he did attend lectures at Bologna University given by the physicist Prof. Augusto Righi (1850–1920), a family friend. Righi had done research in electromagnetism and Hertzian waves. Upon Hertz's death in 1894, Righi wrote an obituary which inspired the 19-year old Marconi. He became much taken by the idea of using these waves for wireless communication, and so his experimentation turned to spark transmitters for generating the waves, and to the Branly 'coherer' for their detection. Through persistence and relying more on trial and

[1] And he could have been: he was seven years younger than Braun.
[2] Biographical details from *Nobel Lectures* (1967: 223–225).

error than physical insight, he was able to increase the transmission distance to several kilometers by 1895.

Unable to drum up much interest for his ideas in Italy, Marconi went to England with backing from his parents (and also helped by contacts which the Jameson family had) and successfully demonstrated wireless communication in 1896. The following year he patented his telegraphy system using Hertzian waves, and registered his Wireless Telegraph & Signal Company. In 1898 he carried out ship to shore wireless tests and two years later obtained patent 7777 ("four-sevens") for using resonant tuning to achieve narrow-band transmission. Marconi dreamed of trans-Atlantic wireless communication, and in 1901 claimed the detection of signals from Cornwall, England, using a receiver in St John's, Newfoundland. Although there was initial scepticism, additional tests the following year convincingly demonstrated that wireless communication over thousands of kilometers was possible.

While Marconi deserves credit for his important role in early wireless development, his achievements built up on the work of many others. Quite apart from the scientific/engineering aspects of the endeavor, he saw the commercial potential, had tenacity, charisma, flair (and not a bit of luck). His company's conservative approach meant that they stuck with spark transmitters too long, and the prior claims of others – some patented – led to disputes with Lodge (1851–1940), Braun and especially Tesla (1856–1943). But Marconi had the backing to fight the opposition, or just buy them out (as happened with Lodge). The dispute with Tesla was only settled after Marconi's death (in Tesla's favor). Guglielmo Marconi died in Rome of a heart attack in 1937.

23.2 Roots of amateur radio in the Netherlands

In most countries, it was the post office (PTT) which usually established a monopoly on telegraph communication, and when wireless became viable the PTT extended its exclusive position to the new medium. The first wireless telegraph in the Netherlands can be dated to 1902, when a shore station at Hoek van Holland was set up to provide communication with the lighthouse ship Maas (Corver, 1926: 11). On the commercial side, companies like Marconi's could operate over international waters, initially also for ship to shore communication. Their service was used for sending private messages, often by businesses or newspapers eager to print the latest foreign reports. The radio-telegraph professionals disliked the idea of anyone ("amateurs") listening in, or interfering by their own transmissions, and so favored a regime which limited the public's direct access to the airways. Tension between commercial interests and the amateurs characterizes much of the early history.

> As an example, consider the following:
> Mijnheer! *Are you the editor of the* "Handelsblad"
> *Yes . . .*
> *Sir, it's true. There's a gentleman on the* Jakob van Lennepkade*, I believe 69, who picks up your Marconigrams on a long Pole in his back yard. If you*

> *go to the* Bilderdijkstraat*, by the shop* "De Javaan"*, you can see it ... As a subscriber, I thought I should warn you.*[3] (from Dutch).

De Voogt (1926: 342) refers to the occupant of Jakob van Lennepkade 69, A. Bech Jr, as *probably the first* radio listener in the land.

Anthonet Hugo de Voogt (1892–1969, Fig. 23.2) began his own "radio listening" in 1908 (De Voogt, 1926: 342), as described elsewhere in these proceedings (Strom, 2008). Most of the radio traffic consisted of messages to and from ships sailing along the Dutch coast (and of course everything was in Morse code). Here are some typical examples:

> *J. H. M., corpl. stoker. Worthy brother, welcome to the motherland, mother and marie are in den helder. many greetings to your brother and brother-in-law H. and J. M. serg. torpedo-maker.*
> *sch*[4]*: lt. a/sea T. o/b hdk.*[5] *How late pier, look for green hat. anna beth.* (De Voogt, 1926: 346; from Dutch).

De Voogt noted a great difference between the signaling technique of the Navy, and the professionals at Scheveningen-Harbor. The latter *signaled with more variation, now strongly accentuated, then again with artistic nonchalance stringing the signs together, thereby striving for abbreviations and shorter words.* E. g. "Sai, bos ses ..." (instead of, Say, boss says...).

By 1909, he was able to pick up signals from the French navy in the Mediterranean:

> alg (Algiers): *rio* [French ship] *has just said that he is isolated by storm, where are you, do you have radio? – here no storm, but clear to the west and parasites*[6]*, nothing for you ....* – October 1909.

The simplest receiver could be assembled from inexpensive components:

> *... a few coils of wire, switches, half a pencil sliced along its length, which carried the exalted name of a "potentiometer", a flashlight battery and an electrolytic "detector" which was handled with the utmost care.* (Corver 1926: 82; from Dutch).

De Voogt noted a number of things concerning the telegraph operators and quality of the tran smissions. The English Marconi operators were the most skillful, keying in the coded letters at breakneck speed. For the beginner, they were difficult to follow. The naval stations often used cadets still learning the fine points of the trade. Their more relaxed pace was much easier to follow, and errors meant that sections of the message had to be regularly repeated. If transmission conditions were poor (possibly associated with poor weather), parts of the text would also have to be repeated:

To speed up things, many standard words and phrases were abbreviated (and this is today still the jargon of the radio ham): QRS – I'll send more slowly; QSN – I heard you at...; CQ – to all; etc. Ships and shore stations also had their names abbreviated: asd = Amsterdam, alg = Algiers, drt = De Ruyter (Dutch warship).

[3] Translated passages are indicated by italics.
[4] Abbreviation for Scheveningen.
[5] Dutch naval ship Hertog Hendrik.
[6] Radio interference.

Figure 23.2:
Anthonet Hugo de Voogt (1892–1969) in 1925

Figure 23.3:
Jan Corver (1878–1956), from a 1925 portrait

23.3 Organization of Dutch radio amateurs after 1910

What was the attraction? We get a hint from Jan Corver's introduction to radio in 1911. Corver (1878–1956; Fig. 23.3), a journalist, also became fascinated by radio, and edited several popular magazines from 1916 on. His introduction came through "VO" (it can be none other than De Voogt): A cold, wet night, early 1913. Rendez-vous in a student room, 11:30 PM. (Corver, 1926: 81; from Dutch).

> *After we had, with baited breath, listened to signals from several ships, shortly after midnight came the great moment of the Eiffel Tower time sign. It was frightfully weak in the nighttime silence, but immensely impressive...*
> *The mysterious voices of the aether had spoken... the wireless wonder had touched our souls.* (Corver, 1926: 82; from Dutch).

So the attraction was in no small measure due to the fact that one had instantaneous contact with distant places, as well as use of a technique which required knowledge and skill, yet was not prohibitively expensive.

But, private use of radio was illegal in many countries, including the Netherlands. De Voogt himself had mo re than one run-in with the law: the large antenna was something of a giveaway. As a result, De Voogt built a version which could be dismantled quickly (Fig. 23.4), which looks more like a fishing rod (De Voogt quickly demountable model). Despite the legal niceties, amate urs like Corver and De Voogt took part in field trips to test their skill in the open. The group included, among others (Bakker, 2004: 2), the architect F. A. Koch, and a dentist, O. P. Koch (with Queen Wilhelmina as one of his patients).

Jan Corver played a key role in legalizing private radio ownership. He had worked for the newspaper that officially recorded the business of parliament, so he knew the ways of government, and arranged an audience with the Minister of Transport. In a theatrical display (Rollema, 1995: 24), he told the Minister, Cornelis Lely (1854–1929), that he had in his pockets materials which were perfectly legal, but with which he could construct an apparatus which could be used to listen to the transmissions from the Scheveningen telegraph station, which was illegal. Intrigued, Lely told him to go ahead, and also phoned Radio Scheveningen with the request that they should transmit a certain text. Corver pulled from his pockets a couple of coils with clamps, a Huth crystal detector and an earphone. Five minutes later, Corver had the message on paper, and Lely burst into laughter. Noting that although he was no lawyer, he had to admit that the law banning private radio seemed absurd. Through his colorful demonstration, Corver had shown that the law was silly and unenforceable. In the spring of 1914, the ban was lifted, only to be re-imposed at the end of the summer when the war broke out in Europe.

So, the amateurs' success was short-lived, and they had to look for a new way to plead their case. Corver began writing about radio for amateurs, first with a column, "Wireless Telegraphy", in *Hemel en Dampkring*, the Dutch magazine for amateur astronomers and meteorologists. He followed this with a book (Corver, 1915) which became very popular, spreading the cause of amateur radio to the provinces, and establishing him as the expert to whom amateurs would turn with their questions, or for information.

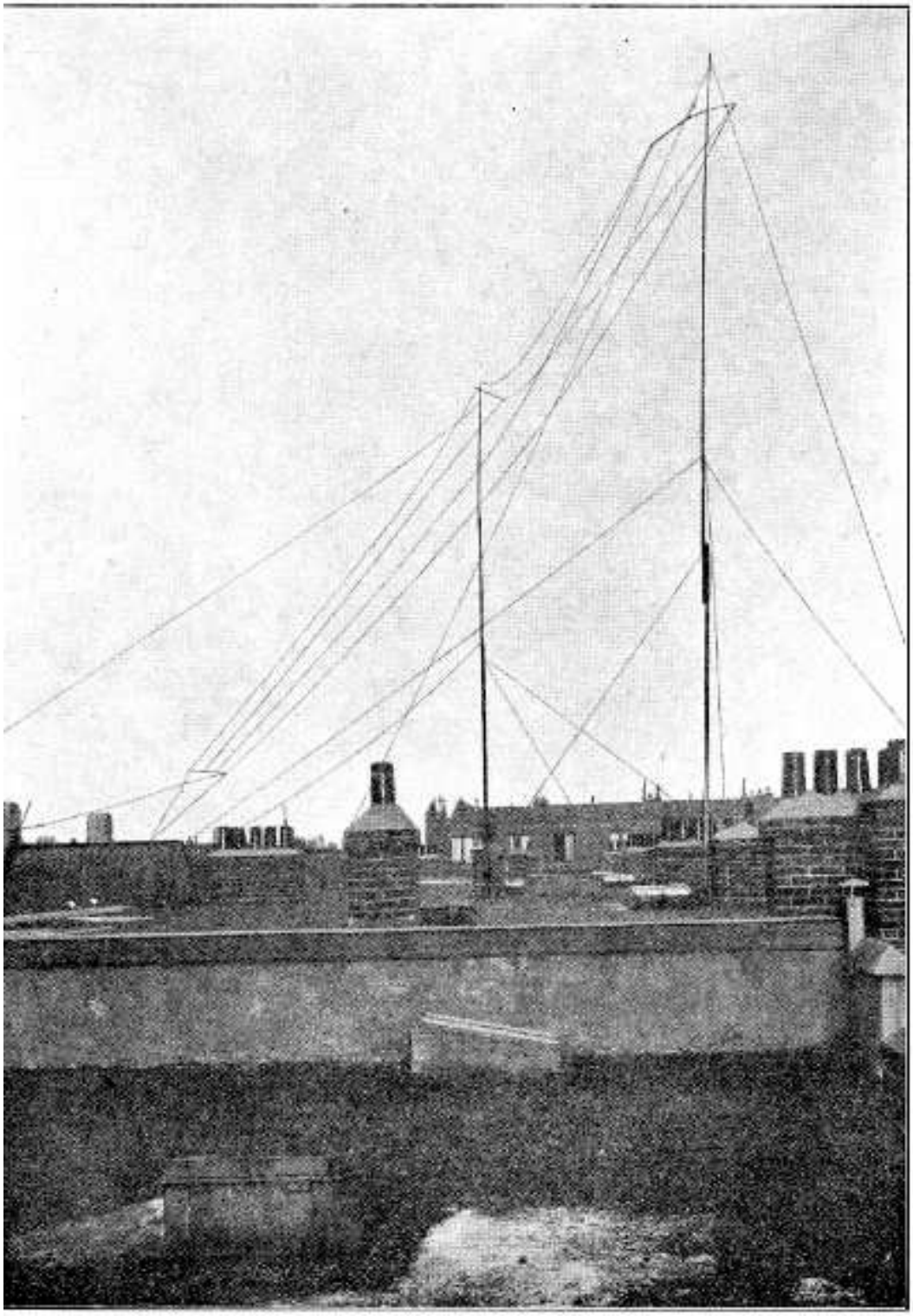


Figure 23.4:
De Voogt's collapsible antenna, Amsterdam, 1909

In 1916, a group including Corver, De Voogt, the Koch's and the Rotterdam Banker, Anthony Veder (1879–1928), founded the *Nederlandse Vereniging voor Radiotelegrafie* (*NVVR*), a society of amateur and professional radio enthusiasts. Its primary goal, to get the ban on private radio use lifted, was achieved within 18 months. The *NVVR* also provided its members with technical information, and organized radio exhibitions.

The first radio exhibition in The Hague, 1918, was a great success (see Strom, 2008). The average daily attendance over 5 days was 1500. The Queen, Queen Mother and Prince Consort attended as did several ministers. With it, the *NVVR* membership doubled in a year: there was clearly widespread public interest in radio. The *NVVR* and other organizations now push ed for lifting the ban on private radio transmission.

23.4 Beginnings of commercial radio

The noisy carrier generated by a spark transmitter was ill-suited to the complex modulation required for voice or music (although some experiments were attempted). By 1915 or so, after the invention of the audion (triode) and later refinements, modulation with good replication of audio signals became possible, and hence radio transmission as we know it.

More than one person can rightly claim to have made the first commercial radio broadcast; it depends upon one's definition of the term. If "broadcast" is defined as: widely available to the general public, with a p rogram announced beforehand, and with transmission on a regular basis, then Hanso Henricus Schotanus à Steringa Idzerda (1885–1944; Fig. 23.5) arguably offered his Dutch listeners the first commercial radio broadcasts[7] Idzerda, an engineer, had a company, Nederlandsche Radioindustrie (NRI), which developed and sold radio components. One of these was a radio "lamp" (tube, valve) which Philips manufactured for NRI, called Ideezet. To sell more components, Idzerda wished to increase the number of radio listeners. He reckoned this would happen if there were more listening opportunities. So he started his own broadcasts, which he also used to advertise the NRI products.

In August 1919, Idzerda was granted permission to transmit using the call-letters PCGG. The first broadcast (from an improvised studio in his own home), a "Radio Soireé-Musicale" (the program of which had been disseminated by a newspaper advertisement), took place on 6 November 1919. These music programs were an instant success, and not only in Holland. In England, at some point the *Daily Mail* newspaper was one of the sponsors. And Idzerda needed financial support. Though he had correctly sensed the public mood, he was not the most astute of businessmen, nor was he terribly diplomatic. His broadcasting permit was a temporary one, to carry out experiments between The Hague and Eindhoven. Yet he acted at times as if the PTT had given him a general broadcasting license. On more than one occasion, PCGG was threatened with closure. The effort finally ended in 1924. After 5 years, NRI was bankrupt.

The first successful Dutch trans-Atlantic amateur radio transmission, was carried out in 1923 by Henk Jesse (1905–2001). His station had the self-assigned call letters PCII.

[7] From a biography by Van Schelven (2008).

Figure 23.5:
Hanso Henricus Schotanus à Steringa Idzerda

The transmission lasted for over two hours, but private radio transmissions were still illegal! After the broadcast, the police moved in and seized Jesse's equipment. He appeared in court, and the prosecutor began by *complimenting* him on his achievement. He was convicted, but the court imposed no penalty. (Licenses were finally obtainable in 1929).

In 1926, the *NVVR* was 10 years old. Its chairman, A. Veder, surprised the members with a special commemorative book (Corver, 1926) to celebrate the occasion. It contains many of the personal anecdotes cited here, as well as contributions from all over the world. It also includes a message from Guglielmo Marconi, and the photograph shown in Fig. 23.1. Symbolically at least, the 10^{th} anniversary of the *NVVR* can be said to mark the end of the pioneering days of amateur radio in the Netherlands.

23.5 References

Bakker, P. M.: *Jan Corver (1878–1956).* `http://www.beeldengeluid.nl` (2004) (in Dutch).

Corver, Jan: *The wireless receiver station for the amateur.* The Hague (1916) (in Dutch).

Corver, Jan (editor): *Gedenkboek N.V.V.R. 1916 Maart 1926.* Rotterdam: privately published (1926) (in Dutch, English, German and French).

Hildebrand, H.: "Presentation Speech, Physics 1909." In: *Nobel Lectures* (1967).

Nobel Lectures. Physics 1901–1921. Amsterdam: Elsevier (1967).

Rollema, D. W.: *Fifty years VERON. One hundred years of radio.* VERON (1995) (in Dutch).

Schelven, A. L. van: *Hans Henricus Schotanus Steringa Idzerda (1885–1944).* `http://www.inghist.nl/Onderzoek/Projecten/BWN/lemmata/bwn1/idzerda` (2008) (in Dutch).

Strom, Richard: "Ir A. H. de Voogt's pioneering role as radio amateur and astronomer." In: *Heinrich Hertz (1857–1894) and the Development of Communication.* Proceedings of the Symposium for History of Science, p. 467.

Voogt, Anthonet Hugo de: *Memories from the ether world.* In: Corver 1926, pp. 338–352 (in Dutch).

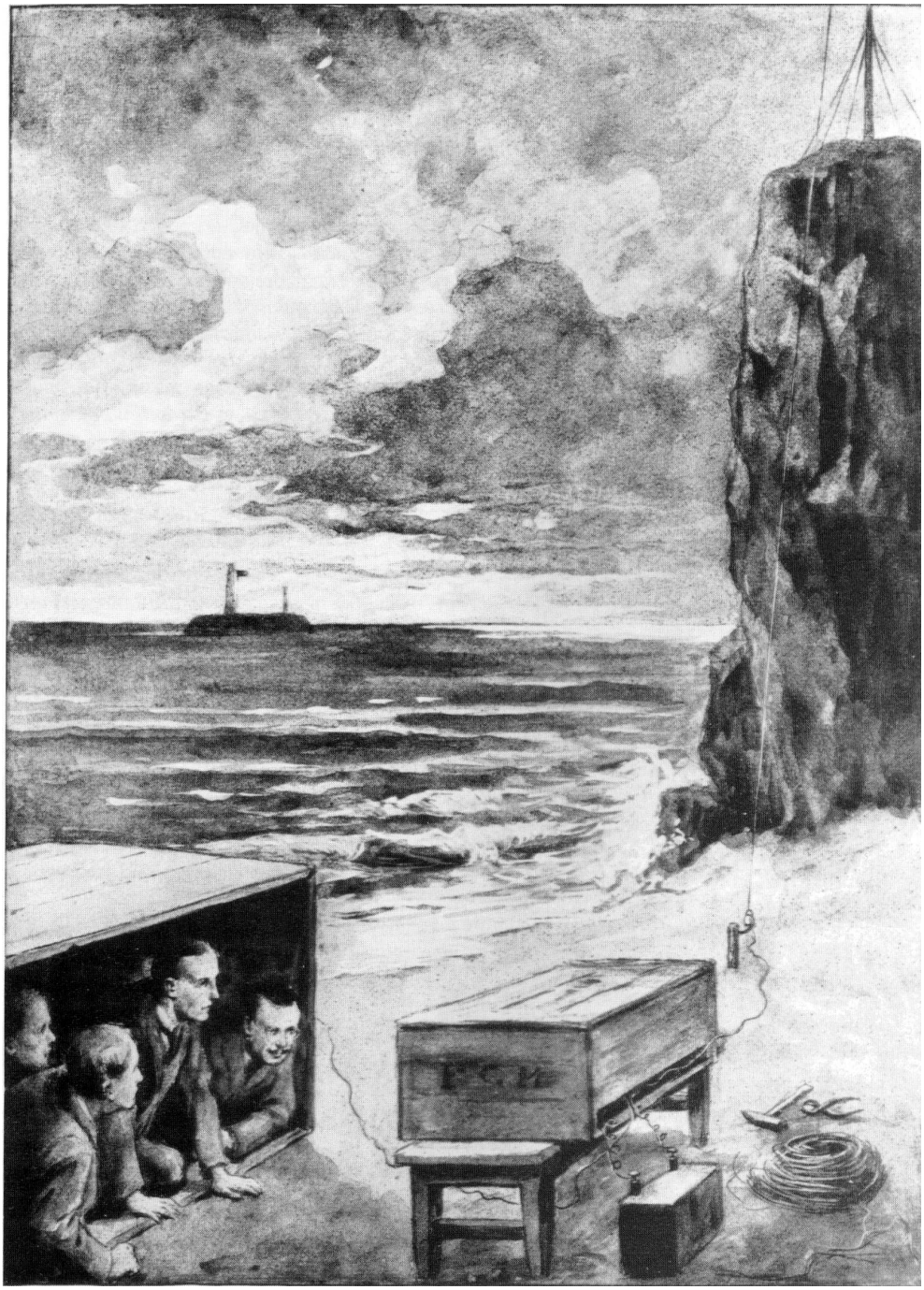


Abbildung 24.1:
Funkversuch Marconis 1897 am Bristol-Channel im Beisein Adolf Slabys

Zeichnung von F. Müller-Münster. Aus: Blumtritt, Oskar: *Nachrichtentechnik. Sender, Empfänger, Übertragung, Vermittlung.* München (3. Auflage) 2005, S. 67.

Wilhelm II. und die Funktechnologie

Wolfgang König (Berlin)

Abstract: Wilhelm II and Radio Technology

Contemporaries and historians interprete Wilhelm II as well as a reactionary and a modern. Among his modern activities, technology played a central role. Concerning radio, Wilhelm sent his technological consultant and intimate friend Adolf Slaby to England to observe Guglielmo Marconi's successful radio trials at Bristol Channel in 1897 and supported Slaby's own experiments when being back in Berlin. Wilhelm arranged very early for supplying his yacht "Hohenzollern" as well as the Imperial battle fleet with radio technology. And he supported industry's and governments initiatives for fighting Marconi company's supremacy in worldwide telegraphy. His interest in radio technology culminated between 1897 and 1903, afterward, it diminished. My contribution will argue that the Kaiser's interest and activity with radio originated in his egomania and neomania and his inability to establish and perform continuous politics towards technology and industry.

Wilhelm II. war Reaktionär und Modernist zugleich.[1] Sein Neoabsolutismus zeigte sich in dem dem preußischen Königshaus zugeschriebenen Gottesgnadentum, in dem Anspruch persönlicher Herrschaft, in der erstarrten, aufwendigen Hofhaltung, der Militarisierung der Gesellschaft, der zentralen gesellschaftlichen Position des Adels sowie der Ablehnung des Parlamentarismus. Die Moderne findet sich bei Wilhelm II. in seinem Gefühl für Repräsentation und Inszenierung in der Massengesellschaft, in seiner Förderung der Wissenschaften und nicht zuletzt in seiner Begeisterung für Technik und Industrie.

An den fatalen Folgen der Herrschaft Wilhelms II. können keine Zweifel bestehen. Eine Kontroverse hat sich dagegen hinsichtlich seiner Rolle in der Politik des Kaiserreichs entwickelt. Während ihm John C. G. Röhl „überragende Entscheidungsgewalt" zuschreibt,[2] ist er für Hans-Ulrich Wehler ein bloßer „Schattenkaiser".[3] Betrachtet man Wilhelms technisch-industrielle Initiativen, so ist man geneigt, eher der Auffassung Röhls als der

[1] Der Aufsatz fasst Forschungsergebnisse zusammen, die ausführlicher ausgebreitet werden in: König 2007.
[2] Röhl 2001, S. 16.
[3] Wehler 1995, S. 195–197.

Wehlers zuzustimmen. Der Kaiser brachte als Technikförderer und als Technikpolitiker einiges in Gang, ohne dass sich seine Aktivitäten zu einer konsequenten Technik- und Industriepolitik verbinden.

Die Thematik „Wilhelm II. und die Technik“ wird hier am Beispiel des Funks entfaltet. Gefragt wird nach seinem persönlichen Beitrag für die Entwicklung der Funktechnik in Deutschland. Und gefragt wird, was uns Wilhelms funktechnisches Engagement über seine Persönlichkeitsstruktur und Rolle der Technik im Kaiserreich sagt.

An der Entdeckung der elektromagnetischen Wellen durch Heinrich Hertz 1887/88 scheint Wilhelm keinen Anteil genommen zu haben. Erst die funktechnischen Arbeiten Guglielmo Marconis erregten sein Interesse. Dies war symptomatisch: Sein Zugang zur wissenschaftlichen Grundlagenforschung blieb immer begrenzt, seine Aufmerksamkeit konzentrierte sich auf „Anwendungen der Wissenschaft“. Im März 1897 entdeckte der Kaiser, ein begeisterter Leser von Zeitungsausschnitten, eine Notiz über Marconis Funkversuche in England „Das Telegraphieren ohne Drähte“.[4] Er übermittelte sie dem Professor für Elektrotechnik an der Technischen Hochschule Berlin Adolf Slaby und verlangte nähere Aufklärung. Wilhelm hatte Slaby drei, vier Jahr zuvor anlässlich der Installation elektrischen Lichts im Prachtsaal des Berliner Schlosses kennen gelernt. Er war von den technischen Kenntnissen Slabys und seiner Persönlichkeit so angetan, dass er ihn zu seinem wichtigsten technischen Berater machte.[5] Zu Slabys Aufgaben gehörte es fortan, vom Kaiser übermittelte Zeitungsausschnitte technischen Inhalts zu kommentieren.

Slaby und sein kaiserlicher Auftraggeber maßen der Meldung offensichtlich so große Bedeutung bei, dass der Elektrotechnikprofessor beschloss, nach England zu fahren, um sich selbst ein Bild zu machen. Die Verbindung zu Marconi stellten der mit guten englischen Kontakten ausgestattete Gisbert Kapp her, der unter dem Vorsitzenden Slaby Generalsekretär des Verbands Deutscher Elektrotechniker (VDE) war, und William Preece, der Chefingenieur der britischen Telegraphie.[6] Nach eigenem Bekunden war Marconi von dem Besuch aus Deutschland wenig begeistert und warf Slaby später vor, seine Versuchseinrichtungen imitiert zu haben.[7] Dies war so falsch nicht. Slaby wohnte jedenfalls im Mai 1897 den überaus erfolgreichen Funkversuchen Marconis am Bristol-Kanal bei, die gemeinhin als Geburtsstunde der drahtlosen Telegraphie gelten. Nach Berlin zurückgekehrt, erstattete er seinem kaiserlichen Auftraggeber mehrfach Bericht,[8] verfasste einen einführenden Aufsatz über den Funk und startete eigene Versuche.[9]

Die Experimente Slabys begannen in Charlottenburg nahe der Technischen Hochschule. Im Sommer 1897 stellte ihm der Kaiser für die Arbeiten die in Potsdam an der Havel gelegenen Königlichen Gärten und die Besatzung der dortigen Matrosenstation zur Verfügung. Unter anderem wurden die Türme der Sacrower Heilandskirche sowie des Schlos-

[4] Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz (GStA PK), I. HA Rep 89 Nr. 29921, Bl 158. In der Literatur finden sich widersprüchliche Angaben, ob sich Slaby bereits vor der Anfrage des Kaisers mit funktechnischen Fragen beschäftigte, z. B. Hong 2001, S. 18; Fuchs 2004, S. 33.
[5] Vgl. König (2005): Der Kaiser und sein Ingenieur.
[6] Slaby 1908, S. 151f.
[7] Electrical Review 84 (1919), 179.
[8] GStA PK, I. HA Rep 8, Nr. 29921, Bl 159ff.; Keller 1935, S. 182.
[9] Slaby 1908, S. 160ff.

ses auf der Pfaueninsel als Funkstationen benutzt. Wilhelm machte sich persönlich ein Bild vom Fortgang der Versuche und wies zusätzlich die Luftschiffertruppe an, Slaby zu unterstützen. Nach der damals geltenden Meinung ließen sich große Entfernungen nur mit Hilfe hoher Antennen und den dadurch erzeugten langen Wellen überbrücken. Die Luftschiffer besaßen Fesselballone, mit denen sich lange Antennendrähte aufspannen ließen. Auf diese Weise erzielte Slaby 1897 in Schöneberg, im Südwesten von Berlin gelegen, einen kurze Zeit gültigen Reichweitenrekord.

Bei den Experimenten waren also fast von Beginn an militärische Abteilungen involviert. Überlegungen zur praktischen Verwendung des Funks dürften sich früh auf das Heer und vor allem auf die Marine konzentriert haben. Es lag auf der Hand, dass eine drahtlose Verbindung zwischen den Stabsstellen und der Front oder zwischen Truppenteilen enorme Vorteile mit sich brachte. Die Kommunikation zwischen Marineverbänden litt häufig unter schlechter Sicht und war über größere Entfernungen ohnehin ausgeschlossen. Auch hier versprach der Funk Abhilfe. Der die Kriegsmarine als seine große Passion betrachtende Kaiser und der national gesinnte Slaby interpretierten den Funk denn auch bald als Aufgabe von vaterländischer Bedeutung.[10]

Slaby war sich bewusst, dass er für die Weiterentwicklung des Funks einen starken industriellen Partner benötigte. Dabei dachte er zuerst an Siemens & Halske, eine Firma, welcher der Professor seit seinem um 1880 erfolgten Einstieg in die Elektrotechnik verbunden war. Die lockere Kooperation führte jedoch zu beträchtlichen Spannungen und wurde Ende 1899 definitiv abgebrochen.[11] Slaby warf Siemens vor allem vor, ihn bei der Patentierung nicht ausreichend unterstützt zu haben. Parallel zur Trennung von Siemens vollzog sich eine Annäherung Slabys an die AEG, bei der einer seiner ersten funktechnischen Assistenten Georg Graf von Arco mittlerweile als Mitarbeiter tätig war. Im Sommer 1900 erwarb die AEG sämtliche Slaby und Arco gewährten funktechnischen Patente. Die Versuchsarbeiten gingen weiter, und Ende 1900 wähnte Slaby, einen entscheidenden Fortschritt erzielt zu haben. Es handelte sich um eine verbesserte Abstimmung der Funkanlagen. Deren Bedeutung lag darin, dass man größere Reichweiten erzielen konnte, auf mehreren Frequenzen funken und – für militärische Anwendungen wichtig – Abhören durch Dritte mit Hilfe schnellen Frequenzwechsels erschweren konnte. Slaby sandte seinem kaiserlichen Gönner die – ziemlich überzogene – Mitteilung, „daß es nunmehr gelungen ist, die wissenschaftlichen Grundgesetze der Funkentelegraphie festzustellen und damit die langgesuchte Abstimmung zu erreichen“.[12] Der Kaiser notierte: „Eine großartige Entdeckung, welche dem deutschen Geiste vorbehalten war, u. durch den bewährten unermüdlichen Forscher bewerkstelligt wird.“ Den unermüdlichen Forscher Slaby versorgte der Kaiser unermüdlich weiter mit Pressenotizen zum Funk.[13]

In der Zeit um 1900 arbeiteten viele Erfinder an der Funktechnik. Eine Entwicklergruppe formierte sich um den Straßburger Physikprofessor Ferdinand Braun, der mindestens

[10] Für frühe entsprechende Äußerungen s. Siemens Archiv-Akte (SAA), 4/Lk 65, 7.7.1898, Slaby an Siemens; Staatsbibliothek Preußische Kulturbesitz (StaBi PK), Nachlass 185 (Slaby) Nr. 9 u. 118; Hellige 1968, S. 543f.; Hars 1999, S. 154; Arco, Adolph Slaby.

[11] SAA 4/Lk 65, passim; StaBi PK, Nachlass 185 Nr. 2–21.

[12] GStA PK, I. HA Rep 89, Nr. 29922, Bl l–8.

[13] Eine Reihe davon finden sich in GStA PK, I. HA Rep 89, Nr. 29922, so Bl 9, 14, 10, 31, 37, 39 u. 50.

seit Anfang 1898 mit elektromagnetischen Wellen experimentierte. Zu Brauns Finanziers gehörten der Schokoladenfabrikant Ludwig Stollwerck und der Seifenhersteller William H. Lever, Industrielle, die Risikokapital in zahlreiche technische Entwicklungsvorhaben steckten. Im Jahre 1898 führte Braun die zweikreisige Schaltung in die Funktechnik ein, das heißt die materielle Trennung und gleichzeitig induktive Kopplung der Funken- und der Antennenstrecke. Damit waren beträchtliche funktechnische Vorteile verbunden. Es war vor allem diese Erfindung, für die Braun im Jahre 1909 zusammen mit Marconi den Nobelpreis für Physik erhielt. Braun hielt die getrennte Schaltung längere Zeit geheim und trat damit erst nach erfolgreicher Patentierung gegen Ende 1900 an die Öffentlichkeit. Der wie immer fleißig Zeitungsmeldungen durchstöbernde Kaiser entdeckte den darüber abgefassten Bericht „Die Braun'sche drahtlose Telegraphie" in der Straßburger Post vom 18. Dezember 1900.[14] Darin war zu lesen, dass die drahtlose Telegraphie durch Braun „nunmehr endgültig auf wissenschaftlichem Wege festgestellt und für die nutzbare Verwendung hergerichtet worden ist." In bewährter Manier ließ Wilhelm den Artikel Slaby „zur Begutachtung" zukommen, der in Brauns neuem Sender jedoch keinerlei Vorteile erkennen wollte. Diese – bislang unbekannte – Episode ist deswegen brisant, weil Slaby und Braun später einen Rechtsstreit und eine wissenschaftliche Auseinandersetzung über die Erfindungspriorität bei der getrennten Schaltung führten und Slaby dabei unter anderem versicherte, er habe den Artikel in der Straßburger Post nicht gekannt.[15]

1901 tat sich die Braun'sche Gesellschaft mit Siemens & Halske zusammen. Dieser Gruppe stand die mit Adolf Slaby kooperierende AEG als Konkurrent gegenüber. Beide Firmen erhofften vor allem Aufträge des Heeres und der Marine. Beim Heer[16] war bis zur 1905 erfolgten Eingliederung des Funks in die Telegraphenbataillone die Luftschifferabteilung für die neue Kommunikationstechnik zuständig – nicht zuletzt, weil sie über Ballone für das Aufziehen der Antennen verfügte. Die Luftschifferabteilung erhielt Ausrüstung sowohl von Braun wie von der AEG und führte mit allen drei Partnern Experimente durch.

Den Unternehmen ging es um Markterschließung und – auch mit Blick auf den Export – um die technische Erprobung ihrer Neuerungen. Im Frühjahr 1902 bewerteten die Luftschiffer in einer vergleichenden Betrachtung die Kooperation mit Siemens-Braun positiver als die mit der AEG-Slaby-Arco-Gruppe.[17] Bis zur 1903 erfolgten Gründung der Gesellschaft Telefunken konnte sich Siemens-Braun als wichtigster Ausrüster des Heeres etablieren.

Der Kaiser kümmerte sich wenig um den Heeresfunk, bei der Marine[18] wurde er aktiver. Hier nahm das Torpedo-Versuchskommando eine ähnliche Rolle wahr wie die Luft-

[14] GStA PK, I. HA Rep 89, Nr. 29922, Bl 8f.; vgl. auch Hars 1999, S. 146–149.
[15] Slaby 1903, S. 661.
[16] Zur Einführung des Funks beim Heer: Friedewald 1999, S. 28f. u. 71; Hars 1999, S. 136 u. 157f.; Bredow [2]1960, S. 365–367.
[17] Bundesarchiv-Militärarchiv (BArch-MA), N 27/5, 1.5.1902.
[18] Zur Einführung des Funks bei der Marine: BArch-MA, N 27/5, 11.3.1902 (mit einem Bericht über die bislang unternommenen Arbeiten); Hars 1999, S. 154ff.; Fuchs 2004, S. 85–91; Bredow [2] 1960, S. 87f. u. 352f.

schiffertruppe beim Heer. Seit 1899 erprobte die AEG Funkanlagen an Bord von Kriegsschiffen, Siemens-Braun folgten wesentlich später, im Dezember 1901. Bei diesen frühen Versuchen hatte man mit nicht unerheblichen Problemen zu kämpfen, die vor allem aus den großen Eisenmassen der Schiffe und der Anbringung der Antennen resultierten. Tests unter Manöverbedingungen fanden seit Herbst 1901 statt. Mitten in die bereits längere Zeit laufenden Arbeiten platzte am 26. April 1901 ein Schreiben des Kaisers, der Marinestaatssekretär Tirpitz anwies, eine eventuelle Ausrüstung der Marine mit Funkanlagen zu prüfen.[19] Zudem lenkte Wilhelm das Augenmerk des Marineministers auf den reichen Erfahrungsschatz der AEG. Der kaiserliche Prüfungsauftrag erging kurze Zeit, nachdem Slaby ein Gespräch mit dem Chef des Marinekabinetts hatte.

In der Folge drückte der Kaiser aufs Tempo. Das Ergebnis bestand in einem Vergleichsfunken zwischen den beiden konkurrierenden Gruppen im Februar 1902. Die Fachleute waren sich einig, dass dessen Ergebnisse nicht überschätzt werden sollten. Die für die Marine relevanten Kriterien waren komplex, die Messungen nicht eindeutig, und die Gruppe AEG-Slaby-Arco besaß größere Erfahrungen mit den örtlichen Verhältnissen. Aber jedenfalls hatte die AEG bei dem als besonders wichtig angesehenen Kriterium der durch Funk überbrückten Entfernung leicht besser abgeschnitten. Außerdem beurteilte das federführende Torpedo-Versuchskommando – im Gegensatz zur Luftschifferabteilung des Heeres – die Kooperationsmöglichkeiten mit der AEG-Gruppe günstiger als jene mit Siemens-Braun.

Bereits am 1. März 1902 fällte der Kaiser persönlich die Entscheidung zugunsten des Systems Slaby-Arco und bestimmte die AEG als alleinigen Marineausrüster.[20] Dieses Faktum ist der Forschung seit langem bekannt; übersehen wurde bislang, dass die Entscheidung auf Wilhelms Jagdschloss Hubertusstock getroffen wurde.[21] Wie immer bei den Jagdaufenthalten der kaiserlichen Familie in der Schorfheide war Slaby einer der Gäste. Außerdem weilte 1902 noch der von Wilhelm ebenfalls als persönlicher Freund betrachtete Friedrich von Hollmann auf dem Schlösschen, Vorgänger Tirpitz' im Amt des Marine-Staatssekretärs und seit 1900 Aufsichtsratsvorsitzender der AEG. Der Kaiser beorderte einen Marineoffizier ins Schloss, der ihm und seinen beiden Gästen über die Ergebnisse des Vergleichsfunkens Bericht erstattete. Es gehört nicht viel Phantasie dazu sich vorzustellen, wie die daraufhin gefällte Entscheidung zugunsten der AEG zustande kam.

Der zusammen mit dem Prinzen Heinrich, dem Bruder des Kaisers, in den Vereinigten Staaten weilende Tirpitz wurde nicht einmal konsultiert. In seinen Erinnerungen machte er später seinem Ärger Luft:

> *„Als die Funkentelegraphie aufkam, versprach sie ein in der Marine lange gefühltes Bedürfnis nach Befehlsübermittelung von Schiff zu Schiff auf größere Entfernungen zu erfüllen. Alles drängte infolgedessen zur Einführung in großem Stile, die Marine, die zunächst interessierte Firma und, wie verständlich, auch der Kaiser. Und doch war sie noch nicht bordreif und die*

[19] BArch-MA, RM 2/1812 Bl 33 u. passim.
[20] Ebd., Bl 68.
[21] Brandenburg-Preußisches Hausarchiv (BPH), Rep 113, Nr. 2090, Bl 186.

> *Erhaltung eines geschäftlichen Wettbewerbs ebenfalls noch dringend geboten. Während meiner Abwesenheit in Amerika wurde aber ihre Einführung durchgesetzt trotz dem Sträuben meines Vertreters. Die Folge war, daß die noch erforderliche Entwicklung zum zeitweiligen Stillstand kam, wir viel Geld für Aptierungen unnötig ausgeben mußten und mit diesen technischen Kinderkrankheiten unendlichen Ärger hatten; es blieb natürlich auf mir sitzen und ich bekam die Angriffe nun wegen der geringen Tauglichkeit.“*[22]

Die Schwierigkeiten der Marine mit dem Funk werden von anderer Seite bestätigt.[23] So sollen die AEG-Anlagen beim Herbstmanöver 1902 schlecht abgeschnitten haben. Es dauerte bis 1909, dass der Funk zur Standardausrüstung der deutschen Kriegsschiffe gehörte.

Der Konkurrenzkampf zwischen der AEG und Siemens-Braun spielte sich im nationalen Rahmen ab. International hatten die beiden Firmengruppen mit einem übermächtigen Konkurrenten zu kämpfen: mit der Marconi Company. Marconi besaß als Pionier zunächst einen technischen Vorsprung. Vor allem aber profitierte das Unternehmen von der Führungsposition Großbritanniens auf dem Gebiet der Schifffahrt. Seit 1900 bot die Marconi Company den Reedereien Kommunikationsdienstleistungen an: Sie richtete auf den Schiffen und an der Küste Funkstationen ein, die Eigentum der Firma blieben und die Nachrichten der Kunden weitergaben. Als äußerst erfolgreich erwies sich diese Strategie, nachdem Marconi 1901 einen Vertrag auf 14 Jahre über den Betrieb von Funkstationen auf von Lloyd's versicherten Schiffen geschlossen hatte. Lloyd's betrieb schon länger ein globales Kommunikationsnetz, das Nachrichten über Schiffsbewegungen und -unfälle sammelte. Die Reeder motivierte das Abkommen zusätzlich, ihre Schiffe mit Marconi-Stationen auszurüsten. Die Marconi Company errang in der Handelsschifffahrt nahezu ein Monopol und agierte auch als Monopolist: Ihre Küsten- und Schiffsstationen ignorierten fremde Funksprüche und gaben nur eigene weiter. Bei der begrenzten Reichweite des damaligen Funks unterband dies weitgehend den Marktzugang anderer Firmen.

Bei dieser Situation kann es nicht Wunder nehmen, dass auch deutsche Schifffahrtsgesellschaften Verträge mit Maroni abschlossen. Der Funk verband die Schiffe mit der Außenwelt. Entscheidende Bedeutung konnte dies bei Notsituationen gewinnen. Außerdem benutzten die Kapitäne den Funk, um das Einlaufen der Schiffe im Hafen anzukündigen. Die großen Luxusliner erstellten aus den über Funk empfangenen Nachrichten Bordzeitungen. Zunehmend gewöhnten sich auch die Passagiere an die erweiterten Kommunikationsmöglichkeiten und sandten und empfingen Telegramme privaten und geschäftlichen Inhalts. Als erste Schifffahrtsgesellschaft wurde der Bremer Norddeutsche Lloyd Kunde Marconis. Ende 1900 erhielt der Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm der Große“ eine Marconi-Station. Zusätzlich finanzierte der Lloyd von der Post betriebene Funkstatio-

[22] Tirpitz [2]1920, S. 31.

[23] Von dem Siemens-Mitarbeiter Franke: SAA, 4/Lk 65, 13.9., 22.9. u. 12.11.1902; allerdings hatten Siemens & Halske bei ihren Anlagen mit ähnlichen Schwierigkeiten zu kämpfen: SAA, 4/Lk 65, 4. u. 20.4.1903.

nen auf dem Feuerschiff Borkumriff und auf einem Leuchtturm auf der Insel Borkum.[24] Von dort hatte man über ein Kabel nach Emden Anschluss nach Bremen.

Der national gesinnte Albert Ballin rüstete dagegen 1901 den HAPAG-Schnelldampfer „Deutschland“ mit Slaby-Arco-Apparaten aus.[25] Als er aber wenig später Kunde über die Installation einer Marconi-Station auf Nantucket vor New York erhielt, warnte er die AEG:

> *„Es wird meiner Meinung nach, wenn wir nicht in der Lage sind, für unsere deutschen Gesellschaften eine ähnliche Einrichtung zu schaffen, für die großen nordatlantischen Rhedereien (sic!) unmöglich sein, sich auf die Dauer von Marconi fernzuhalten. Der Umstand, dass die Marconi Gesellschaft ein Schiff schon 15 Stunden vor Ankunft in New-York signalisiren kann, ist von ungeheurer Wichtigkeit, nicht nur für die eigenen Zwecke der Gesellschaft, sondern auch für die Angehörigen der Passagiere, und ich fürchte sehr, dass eine Gesellschaft, welche diese Depeschen nicht erhält, mit der Zeit Verkehr verlieren würde.“*[26]

Als Verhandlungen zwischen der HAPAG, Marconi und der AEG über eine gemeinsame Funkausrüstung der Schiffe 1903 scheiterten, wechselte Ballin mit seinen neuen nordatlantischen Dampfern zu Marconi.[27] Das Marineministerium sah dies höchst ungern, weil man im Kriegsfall die großen Passagierschiffe requirieren und Schwierigkeiten mit unterschiedlichen Funkanlagen vermeiden wollte. Der Reichskanzler informierte den Kaiser über die Angelegenheit, der sich wiederum an Ballin wandte.[28] Der Reeder antwortete – ohne Widerspruch des Kaisers –, dass er auf Marconi angewiesen sei, wenn er auf dem Atlantik Funk verwenden wolle.

Eine anderes Ereignis dürfte Wilhelm II. und den als hoher Marineoffizier dienenden Heinrich von Preußen bereits vorher gegen Marconi mobilisiert haben.[29] Im Februar und März 1902 unternahm Prinz Heinrich im Auftrag seines Bruders eine Besuchsreise in die Vereinigten Staaten. Die Hinfahrt fand auf der mit einer Marconi-Station ausgerüsteten „Kronprinz Wilhelm“ des Norddeutschen Lloyd statt. Die Angestellten des englischen Unternehmens demonstrierten dabei dem Prinzen ihre Funkanlage. Für die Rückreise wählte Heinrich die mit einer Slaby-Arco-Station ausgerüstete „Deutschland“ der HAPAG. Dabei weigerte sich die Marconi-Station Nantucket – der Politik des Unternehmens entsprechend – das an den amerikanischen Präsidenten Roosevelt adressierte Dankestelegramm aufzunehmen und weiterzuleiten. Die Sache führte zu kritischen Kommentaren in der deutschen Presse – darunter auch von Slaby, der von einer „Ungefälligkeit“ sprach.[30] Allerdings vermerkte Slaby auch, dass Marconi rechtlich nicht zur Weiterleitung verpflichtet sei und verwies auf die bevorstehende internationale Konferenz, welche Abhilfe

[24] Ulsamer 1988, S. 57ff.
[25] BArch, R 4701/15316.
[26] BArch, R 901/16372, 16.12.1901.
[27] BArch-MA, RM 2/1812 Bl 104–107.
[28] GStA PK, I. HA Rep 89, Nr. 29925, Bl 73–76.
[29] Die Episode ist in der historischen Literatur vielfach wiedergegeben worden, dabei aber häufig falsch oder ungenau: so durch Bredow, [2] 1960, Bd. l, Douglas 1987, S. 120.
[30] BArch PK, R 901/16372 Bl 125f.; Berliner Lokal-Anzeiger v. 21.3.1902; vgl. Hars 1999, S. l64f.

schaffen wolle. In diesem Zusammenhang kam dem Kaiser auch eine Meldung des englischen „Standard“ in die Hände, die Marconi verteidigte und Slaby als Nachahmer von dessen Erfindung angriff. Wilhelm reagierte gereizt: „So *mußte* es kommen natürlich! damit wie mit Kabeln auch in Funkentelegraphie England das Monopol auf dem Erdball habe! das soll aber nicht sein!“[31] Eine offizielle Reaktion erfolgte von deutscher Seite jedoch nicht.

Eine weitere persönliche Begegnung mit dem Funkmonopol Marconis hatte Wilhelm II. auf seiner im März/April 1905 durchgeführten Mittelmeerreise.[32] Die von der HAPAG zur Verfügung gestellte „Hamburg“ wurde eigens mit einer Telefunken-Station ausgerüstet, um dem Kaiser deren Leistung zu demonstrieren. Dabei scheiterte aber schon am Anfang der Reise die Weiterleitung kaiserlicher Funksprüche über das Feuerschiff Borkumriff. Die von der Reichspost betriebene Station hatte mit technischen Problemen zu kämpfen, die nicht zuletzt mit den veralteten Marconi-Apparaten zusammenhingen. Der Kaiser intervenierte unmittelbar beim Reichspostamt: „diesem geradezu beispiellosen zustand ist umgehend ein ende zu bereiten! ein anderer neuer apparat ist unbedingt erforderlich“.[33] Die Folge war, dass die alten Marconi-Geräte durch neue von Telefunken ersetzt wurden. Bereits seit längerer Zeit war in der Region eine größere Station in Planung. Die 1907 in Betrieb genommene Station Norddeich diente vor allem dem Verkehr mit den deutschen Schiffen in der Nordsee und auf dem Atlantik. Ging es bei dem Vorkommnis vor Borkum nur um die Marconi-Technik und nicht um das Unternehmen, so machte Wilhelm auf seiner Fahrt nach dem Mittelmeer im Kanal auch Erfahrungen mit der Marconi Company: Deren Stationen leiteten ohne Ausnahme seine Telegramme nicht weiter. Entrüstet vermerkte Wilhelm auf einem Bericht: „man kann ihr aber doch nicht das Recht einräumen Mich daran zu hindern mit meiner Frau in Verbindung zu bleiben“.[34]

Seit 1901 wuchs das Bewusstsein in Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit, dass es sich beim Funk um eine Angelegenheit von nationaler Bedeutung handele. Vorkommnisse wie die geschilderten verwiesen auf Marconi als Hauptgegner einer fruchtbaren Entwicklung des deutschen Funks. Dabei wurde allerdings häufig Marconi mit England gleich gesetzt und übersehen, dass das unabhängige private Unternehmen mit der englischen Regierung nicht gerade auf bestem Fuß stand. Die deutsche Seite entwickelte in der Folge zwei gegen Marconi gerichtete Strategien. Alle am Funk Beteiligten und Interessierten, auch die Firmen selbst, gelangten zu der Auffassung, dass sich die beiden großen deutschen Gruppen, die AEG sowie Siemens-Braun, gegen den übermächtigen britischen Konkurrenten zusammenschließen müssten. Dies geschah im Mai 1903 durch Gründung der Gesellschaft Telefunken. Der Zusammenschluss entsprach den Wünschen Wilhelms II.,

[31] BArch PK, R 901/16372, Bl 120 u. 122.

[32] Die bislang kompetenteste Darstellung diese Episode bei Ulsamer 1988, S. 47ff.; vgl. auch Bredow [2] 1960, Bd. 1, S. 116f. In der Literatur finden sich vielfach falsche Schilderungen: Die Station auf dem Feuerschiff wird als Marconi-Station bezeichnet und der geplante bzw. realisierte Bau neuer Stationen in Borkum und Norddeich wird mit der Intervention Wilhelms II. im Jahr 1905 in Zusammenhang gebracht, obwohl die Planungen bereits Jahre liefen (vgl. Ulsamer 1988, S. 97f.).

[33] BArch PK, R 4927/2, 23.3.1905 (Zitat); BArch-MA, RM 2/1812, Bl 121ff.

[34] BArch-MA, RM 2/1812, Bl 117.

doch waren seine persönlichen Verdienste um die Fusion geringer als in weit verbreiteten historischen Legenden dargestellt.

Die andere Strategie bestand darin, das Marconi-Monopol durch internationale Abkommen zu untergraben. Dies geschah auf mehreren Konferenzen, welche zwischen 1903 und 1912 in Berlin und London stattfanden. Die technische Entwicklung hatte das Marconi-Monopol zunehmend ausgehöhlt. Die leistungsstärkeren Funkstationen konnten jetzt größere Entfernungen überbrücken und waren nicht mehr auf so viele Schiffe als Zwischenträger angewiesen. Vor diesem Hintergrund kam es zwischen Marconi und Telefunken zu einer Einigung. 1911 gründeten sie für den deutschen Schiffsfunk die „Deutsche Betriebsgesellschaft für drahtlose Telegraphie“ (DEBEG), an der Telefunken mit 55% und Marconi mit 45% beteiligt war.[35] Das Übereinkommen bildete den Auftakt für eine Reihe weiterer Absprachen mit Marconi. Die beiden Firmen vereinbarten einen weltweiten Interessenausgleich und Patentaustausch. Bei Telefunken liefen die Gespräche unter dem Kürzel „Weltfunkfrieden“, ein Begriff, der einerseits die Schärfe der vorangegangenen Auseinandersetzungen kennzeichnete, andererseits die überragende Position der zwei funktechnischen Global Player.

Der Höhepunkt des funktechnischen Engagements Wilhelms II. fällt in den Zeitraum zwischen 1897 und 1903. Nach der Gründung der Gesellschaft Telefunken trat er weniger in Erscheinung. Dies mag damit zusammenhängen, dass beim Funk die Zeit spektakulärer technischer Neuerungen, welche den Kaiser besonders faszinierten, abgeschlossen schien und sich die Entwicklung in Deutschland auf gutem Wege befand. Außerdem reduzierte der kaiserliche Freund und Berater Adolf Slaby seine funktechnischen Aktivitäten, so dass Wilhelm von dieser Seite weniger Anregungen empfing. Slaby resignierte wohl nicht zuletzt aufgrund der heftigen Auseinandersetzungen mit Physikerkollegen. Zwar lieferte er dabei noch Rückzugsgefechte, dürfte aber wohl erkannt haben, dass die wissenschaftliche Entwicklung mittlerweile an ihm vorbeigegangen war und ein selbständiger Erfinder nicht gegen die Forschungs- und Entwicklungskapazitäten der großen Firmen bestehen konnte. Seit 1909 war es Slaby aufgrund seines sich verschlechternden Gesundheitszustandes nicht mehr möglich, die persönlichen Kontakte zum Kaiser in gleichem Umfang wie vorher aufrecht zu erhalten. Auf der anderen Seite agierte Wilhelm II. nach der Daily Telegraph-Affäre nicht nur in der Politik spürbar zurückhaltender, sondern auch auf dem Gebiet der Technik.

Abschließend möchte ich die technischen und politischen Aktivitäten Wilhelms II. zum Funk in die Gesamtheit seines technisch-industriellen Wirkens einordnen. Ich mache dies mit Hilfe dreier Begriffe: „Neomanie“, „Egomanie“ und „Borussomanie“. Diese psychopathologischen Begriffe verweisen einerseits auf die problematische Persönlichkeitsstruktur des Kaisers. Andererseits charakterisieren sie seine Einstellung und seinen Umgang mit der Technik.

„Neomanie“ kennzeichnet Wilhelms leicht entflammbare Begeisterung für Innovationen und kühne Projekte, welche nicht selten technische Vernunftgründe außer Acht ließen. Der Kaiser war nur allzu schnell bereit, neue Technologien einzuführen, selbst wenn sie noch nicht ausgereift waren. So sorgte er dafür, dass seine Yacht

[35] Vgl. Bredow [2] 1960, Bd. 1, S. 137ff. u. 235ff.

„Hohenzollern“ bereits 1901 die erste Funkanlage erhielt und die Marine seit 1902 den Funk einführte. In beiden Fällen dauerte es sieben bis acht Jahre, bis der Funk die mit ihm verbundenen Erwartungen erfüllte. Zu dieser Zeit war aber das kaiserliche Interesse am Funk schon wieder abgeflaut; der Kaiser hatte sich neuen Themen zugewandt.

„Egomanie“ verweist darauf, dass Wilhelms technische Aktivitäten ihren Ursprung häufig in seiner persönlichen Lebenswelt besaßen, einschließlich der ihn umgebenden Personen. So lag es nicht zuletzt an seinen engen Vertrauten Adolf Slaby und Friedrich von Hollmann, dass der Funk einen so großen Stellenwert erhielt. Als sich Slaby mehr und mehr aus der Funktechnik zurückzog, erlahmte auch das kaiserliche Interesse. Die Gegnerschaft zu Marconi war nicht nur von nationaler Machtpolitik diktiert, sondern beruhte auch auf der Nicht-Weitergabe seiner Funksprüche, was Wilhelm als persönliche Brüskierung empfand.

„Borussomanie“ bezieht sich auf den durch Wilhelm II. betriebenen Personenkult um das Königshaus der Hohenzollern. Hierzu gehörte das Bemühen, technische Vorhaben, wie z. B. den Kanalbau, in die Tradition seiner Vorgänger zu stellen. Beim Funk war dies schwierig. Aber seine Schifffahrts- und Flottenaktivitäten stilisierte Wilhelm als Fortsetzung und Vollendung der durch den Großen Kurfürsten begonnenen brandenburgischen Marinepolitik.

Auf dem Gebiet der Technik war Wilhelm II. jedenfalls alles andere als ein „Schattenkaiser“. Er unterstützte die Innovationstätigkeit von Ingenieuren und Unternehmern. Er initiierte technische Aktivitäten des Staates, wenn diese auch nicht in eine konsistente Technologiepolitik mündeten. Er begrüßte es, wenn seine technischen Interessen und seine angebliche technische Kompetenz in die Öffentlichkeit getragen wurde. Mit all dem stärkte er die gesellschaftliche Position der technischen Intelligenz und des Industriebürgertums und leistete einen Beitrag zur Modernisierung Deutschlands.

24.1 Literatur

Arco, Georg v.: Adolf Slaby †. In: *Telefunken-Zeitung* **2** (1913), S. 104.

Bredow, Hans: *Im Banne der Ätherwellen.* 2 Bde., (1954) Stuttgart [2] 1960.

Douglas, Susan J.: *Inventing American Broadcasting, 1899–1922.* Baltimore, London (Johns Hopkins Studies in the History of Technology) 1987.

Friedewald, Michael: *Die „Tönenden Funken“. Geschichte eines frühen drahtlosen Kommunikationssystems 1905–1914.* Berlin (Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts; 2) 1999.

Fuchs, Margot: *Georg von Arco (1869–1940) – Ingenieur, Pazifist, Technischer Direktor von Telefunken.* Diepholz: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik 2004.

Hars, Florian: In: *Ferdinand Braun (1850–1918). Ein wilhelminischer Physiker.* Berlin, Diepholz: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik 1999.

Hellige, Hans Dieter: Wilhelm II. und Walther Rathenau. Ein Gespräch aus dem Jahre 1900. In: *Geschichte in Wissenschaft und Unterricht* **19** (1968), S. 538–544.

Hong, Sungook: *Wireless. From Marconi's Black-Box to the Audion.* Cambridge, Mass., London (Transformations: Studies in the History of Science and Technology) 2001.

Keller, Mathilde Gräfin von: *Vierzig Jahre im Dienst der Kaiserin. Ein Kulturbild aus den Jahren 1881–1921.* Leipzig 1935.

König, Wolfgang: Der Kaiser und sein Ingenieur. Wilhelm II. und Adolf Slaby. In: *Dahlemer Archivgespräche* **11** (2005), S. 53–72.

König, Wolfgang: *Wilhelm II. und die Moderne. Der Kaiser und die technisch-industrielle Welt.* Paderborn 2007.

Röhl, John C. G.: *Wilhelm II. Der Aufbau der Persönlichen Monarchie 1888–1900.* München 2001.

Slaby, A(dolf): Antwort an Hrn. Braun. In: *Annalen der Physik* 4, **10** (1903), S. 661–664.

Slaby, A(dolf): *Glückliche Stunden. Entdeckungsfahrten in den elektrischen Ozean.* Gemeinverständliche Vorträge. Berlin 1908.

Tirpitz, Alfred v.: *Erinnerungen (Deutsche Denkwürdigkeiten).* (1919) Leipzig ^{2}1920.

Ulsamer, Gregor: *Feuerschiff Borkumriff. Die interessante Geschichte des Nachrichtenwesens an der Küste.* Berlin, Offenbach 1988.

Wehler, Hans-Ulrich: Deutsche Gesellschaftsgeschichte. Bd. 3: *Von der „Deutschen Doppelrevolution" bis zum Beginn des Ersten Weltkrieges 1849–1914.* München 1995.

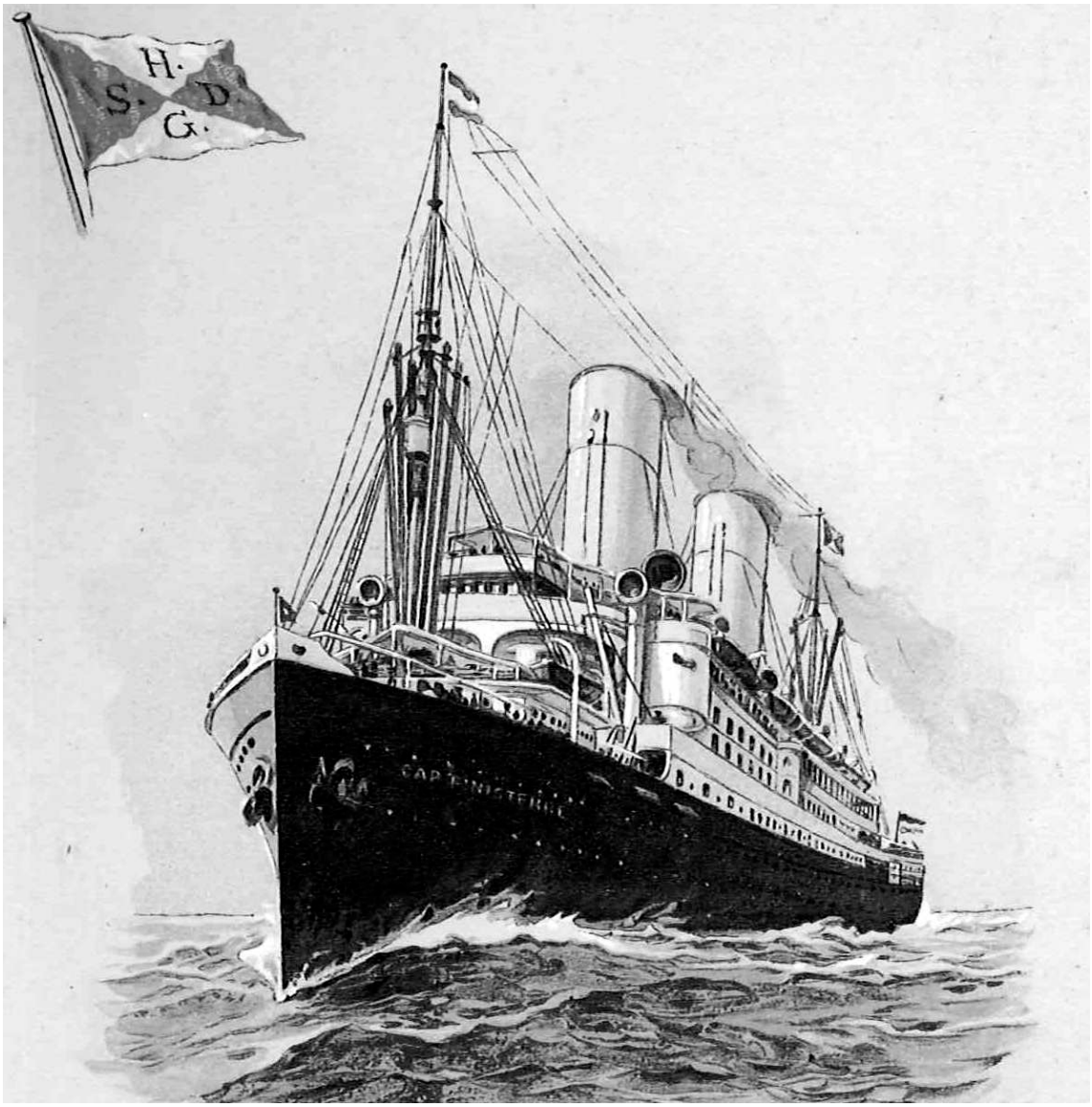


Abbildung 25.1:
Deutscher Überseedampfer „Cap Finisterre“ mit Funkanlagen

Mannesmann-Archiv

Telegraphy Without Wires – Technical Prerequisites and Economic Significance of the Early Radiotelegraphy

Horst A. Wessel (Düsseldorf)

Abstract: Telegraphy Without Wires – Technical Prerequisites and Economic Significance of the Early Radiotelegraphy

The open to the public telegraphy in Germany since the middle of the 19th century had become independent of weather conditions and made communication much faster than by optical telegraphy or letter mail, but it was wire-bound and required fixed stations. Despite the sea bridging cables, ships outside of the sight of the shore of continents or islands were not within reach of communication. An economically efficient operation as well as effective calls for aid in emergencies was thus not possible.

Not even ten years after Hertz had proven the existence of electromagnetic waves which Maxwell hat theoretically described, were these used by Popow and Marconi to transmit messages. The sea-going ships, but also other moving transport equipment such as the railroads, were thus integrated directly into the high-speed communication network. This contribution examines the technical prerequisites, the beginnings of the development and the economic effects.

Es liegt in der Natur der menschlichen Individuen, dass sie als denkende, sprechende, empfindende und handelnde Personen zueinander in Beziehung treten; dies geschieht in Akten der Kommunikation. Durch zweckmäßige und rechtzeitige Information können Kräfte gebündelt, Schwächen ausgeglichen, Gefahren vermieden und vorhandene Ressourcen optimal verwendet werden. Zwischenmenschliche Verständigung setzt ein System von Zeichen und Regeln voraus, das von den am Kommunikationsprozess Beteiligten beherrscht wird. Dabei handelt es sich um Sprache im umfassenden Sinne; neben Schrift- und gesprochener Sprache gehört dazu auch die Körpersprache und die auf verabredeten Signalen fußende Verständigung.

Den Jägern der Urzeit reichten Berührungen, Rufe und Zeichen, um die Jagd auf Beute und damit die Sicherung ihrer Existenz und die ihrer Familien erfolgreicher zu gestalten. In späteren Zeiten wurden Boten zu Fuß, zu Pferd oder mit Land- und Wasserfahrzeugen, ggf. auch abgerichtete Vögel zur Übermittlung von mündlichen bzw. schriftlichen Nachrichten eingesetzt. Trommel- und Trompeten- sowie Rauch- und Fackelsignale machten Boten teilweise überflüssig, waren viel schneller und transportierten Nachrichten auch dahin, wohin diese aufgrund der Geländeverhältnisse durch Boten nicht gelangen konnten.[1]

Von griechischen Schriftstellern wissen wir, dass die Nachricht vom Fall Trojas in einer einzigen Nacht mittels „Feuerpost“ über eine Entfernung von mehr als 600 Kilometern von der kleinasiatischen Küste bis nach Mykene auf der griechischen Peloponnes gelangt sein soll.[2] Von dem großen Scipio Africanus ist überliefert, dass er seine Truppen durch Trompetensignale lenkte und diese dadurch in der Entscheidungsschlacht gegen Hannibal, 202 vor Chr. bei Zama, vor der Umfassung, die bei Cannae 14 Jahre zuvor den Untergang des zahlenmäßig weit überlegenen römischen Heeres bedeutet hatte, bewahrt hat.[3]

Tauben waren viel schneller als Boten auf dem Land oder auf dem Wasser, aber man musste sie auf der Reise mitführen; außerdem kannten sie nur ein Ziel, nämlich ihren heimatlichen Schlag. Sie waren widrigen Witterungsbedingungen, Raubvögeln und menschlichen Jägern ausgesetzt.[4] Auch die menschlichen Boten hatten mit den Unbilden der Natur zu kämpfen, und sie konnten das Opfer von Un- oder Überfällen werden. Ton-, Licht-, Flaggen- und Rauchsignale blieben, wenn deren Bedeutung bekannt war, nicht geheim – jedenfalls konnte die Gegenseite darauf aufmerksam werden und ihre Schlüsse ziehen. Der Personal- und Zeitaufwand war für diese frühen Nachrichtensysteme so groß, dass sie nur auf besonderen Strecken eingerichtet wurden und nur von wenigen ausgewählten Einrichtungen oder Personen benutzt werden durften, z. B. die römische Staatspost nur von hohen Staatsbeamten mit kaiserlicher Erlaubnis.[5]

Selbst die im revolutionären bzw. im napoleonischen Frankreich genutzte optische Telegraphie, die sich zur Zeichenübermittlung beweglicher Flügel bediente, war personalintensiv und so langsam, dass nur wenige Staatstelegramme übermittelt werden konnten; an eine allgemeine Freigabe, z. B. für den Handelsverkehr, war nicht zu denken – immerhin konnten rd. 70 Kilometer im günstigsten Falle in elf Minuten überbrückt werden.[6]

Vom Betrieb der in den 1830er Jahren errichteten preußischen optischen Telegraphenanlage wissen wir, dass unter optimalen Bedingungen ein Zeichen die Strecke zwischen den Endpunkten Berlin und Koblenz in 20 bis 30 Minuten passierte; für jedes weitere Zeichen benötigte man eine weitere Minute, vorausgesetzt alle etwa 60 Zwischenstationen arbeiteten ununterbrochen. Die Übermittlung einer Kurznachricht im Umfang von 30

[1] Wessel: Von der Festnetztelefonie zum Mobilfunk 2001, S. 121–141, hier S. 121.
[2] Aischylos, Agamemnon, 1. Akt; Aschoff: Geschichte der Nachrichtentechnik 1984, S. 19–23.
[3] Kromayer: Heerwesen und Kriegsführung der Griechen und Römer 1928.
[4] Pekáry: Nachrichtenwesen 1970, S. 57.
[5] Schürmann: Kommunikation in der antiken Gesellschaft. In: Beyrer/Mathis 1995, S. 7–16, hier S. 14.
[6] Aschoff 1984, S. 159–178.

Zeichen, z. B. „S.M./EINTRIFFT/B'LN/MORGEN/8.15“ beanspruchte ca. eine Stunde. Es kam jedoch häufig vor, dass der Nachrichtenverkehr wegen der die Sicht trübender Niederschläge oder wegen Einbruch der Nacht unterbrochen werden musste – man rechnete im Jahresdurchschnitt mit einer Betriebsbereitschaft von nur sechs Stunden am Tag.[7] Die ab der Jahrhundertmitte in einigen Staaten des Deutschen Bundes, dann auch weltweit öffentlich zugängliche elektromagnetische Telegraphie war nicht nur ungleich schneller bei der Nachrichtenübermittlung, sie machte v. a. von widrigen Witterungsverhältnissen unabhängiger; außerdem gab es – theoretisch – Betriebsbereitschaft rund um die Uhr. Ein großer Nachteil dieses Systems bestand darin, dass Nachrichten nur auf den Strecken und zwischen den Punkten übermittelt werden konnten, auf bzw. zwischen denen entsprechende Einrichtungen vorhanden waren, also ein oberirdisch geführter Metalldraht oder ein Telegraphenkabel zwei Telegraphenapparate samt Stromquellen u. a. Nebenapparaten sowie Bedienungspersonal miteinander verband.[8] Grenzüberschreitend war der moderne Telegraphenverkehr von Beginn an; ab den 1860er Jahren wurden auch Ozeane überwunden[9] und die Nachrichtennetze, z. B. östlich und westlich des Atlantiks, miteinander in Verbindung gesetzt. Etwa zur gleichen Zeit entstand die Indo-Europäische Telegraphenlinie mit den Endpunkten London und Kalkutta.[10]

Wenn auch die Zahl der Anlagen in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts immer mehr zunahm und die betriebenen Anlagen rationeller genutzt wurden, so waren doch nur bedeutende öffentliche Einrichtungen, Zeitungsverlage, Handels- und Industrieunternehmen in dieses moderne Schnellnachrichtennetz eingebunden.[11] Wer erreichbar sein wollte, der musste „auf Draht sein“, d. h. der musste zu einer entsprechenden Einrichtung Zugang haben. Voraussetzung für eine Kommunikation war, dass auch der räumlich getrennte Partner sich zumindest so nahe bei einer Telegraphenstation aufhielt, dass man ihm das Telegramm zustellen konnte – ggf. durch Boten.

Für die verwöhnten Mobilfunkteilnehmer sei hinzugefügt, dass auf jeden Fall der Aufenthaltsort eines Reisenden bekannt sein musste. Von Johannes Senfft, der ab 1900 für Mannesmann ein weltweites Vertriebsnetz aufgebaut hat und oft monatelang unterwegs war, wissen wir, dass er fast täglich Telegramme aus der Heimat erhielt und nach dort auf den Weg brachte, und dies, obwohl er sich fast täglich an einem anderen Ort aufhielt: seine Reiseroute samt Zeitplan und Hotels war bekannt. Allerdings fielen, insbesondere für die Nutzung der Seekabel, hohe Kosten an; die Nachrichten wurden deshalb – und weil man sie schützen wollte – kodiert, d. h. verschlüsselt.

Nicht erreichbar war Senfft auf seinen mit Reittieren unternommenen Reisen durch nur dünn besiedelte Regionen in Mittel- und Südamerika, die nachrichtentechnisch noch nicht erschlossen waren. Tagelang war er – zumindest in den ersten Jahren seiner Rei-

[7] Wessel: Die Entwicklung des elektrischen Nachrichtenwesens 1983, S. 141–145. Beyrer: Von Berlin nach Koblenz und zurück. In: Beyrer/Mathis 1995, S. 177–194.

[8] Wessel: Die Entwicklung des elektrischen Nachrichtenwesens 1983, S. 22–30, 47–53, 61–69, 74–83, 92–94, 98–99, 104–110, 117–120, 122, 125, 127, 130, 133–134, 138, 159–176, 247–255, 270–272, 280–312, 408–419, 456–465, 478–510.

[9] Wessel 1997, S. 74–77.

[10] Feldenkirchen: Siemens 1997, S. 44–53.

[11] Wessel: Die Entwicklung der Telekommunikation im 20. Jahrhundert 2002, S. 59–70, hier S. 59.

setätigkeit – von allen Nachrichtenverbindungen abgeschnitten, wenn er sich auf hoher See befand.[12] Zwar hatte man bereits zur Zeit der optischen Telegraphie versucht, mit auslaufenden Schiffen möglichst lange Verbindung zu halten und von der glücklichen Rückkehr einlaufender Schiffe recht früh zu erfahren, aber die Schiffsmeldelinien der optischen Telegraphie hatten ihre Grenzen an der Mündung von Elbe bzw. Weser; später bildeten die Leuchttürme und Inseln vor der Küste,[13] soweit diese durch Seekabel mit dem kontinentalen Telegrafennetz verbunden waren, die Außenstationen. Auf der hohen See kam es allenfalls bei Unterwegsbegegnungen zum Austausch von Flaggen- und Lichtsignalen. Davon abgesehen war man nach wie vor ausschließlich in Gottes Hand – auch und besonders in Seenot.

Diese großen und bei Seenot gefährlichen Lücken im Weltnachrichtennetz konnten nur durch ein Nachrichtensystem geschlossen werden, das nicht auf eine feste Verbindung durch Draht bzw. Kabel angewiesen war. Fernwirkungen der Elektrizität waren seit langem bekannt. Physiker unterschiedlicher Nationalität hatten seit den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts bei ihren Experimenten Zusammenhänge zwischen dem elektrischen Strom und dem Magnetfeld beobachtet, beschrieben und, wie Ørsted und Faraday, auch gesetzlich bestimmt. In den 1860er Jahren hatte Maxwell, der die elektrischen Erscheinungen theoretisch erfasste, diese in den mit seinem Namen verbundenen Gleichungen mathematisch formuliert.

Heinrich Hertz gelang es dann mehr als zwanzig Jahre später, die auf Beobachtungen der Wirkungen und Überlegungen seiner Vorgänger beruhende Vermutung, nämlich die Existenz elektromagnetischer Wellen, experimentell zu bestätigen. Er entdeckte die Durchdringungsfähigkeit der Kathodenstrahlen durch Materie und ergänzte und erweiterte quantitativ die Wellenversuche. Das Ergebnis: Elektrische Schwingungen bewegen sich wie Lichtwellen mit Lichtgeschwindigkeit und umrunden die Erde mehr als sieben Mal in einer Sekunde. Sie werden wie diese reflektiert, gebrochen und polarisiert.

Anders als Lichtwellen haben die elektromagnetischen Wellen jedoch eine ungleich größere Länge – eine Folgeerscheinung schneller, hin- und her schwingender (oszillatorischer) elektrischer Entladungen. Derartige Erscheinungen hatte man bereits früher beim Ausgleich der verschiedenartigen Elektrizitätsmengen auf den Belägen einer geladenen Leidener Flasche oder einer bei den damaligen Gesellschaftsspielen beliebten Elektrisiermaschine beobachtet. Ersetzt man nun die Leidener Flasche durch geerdete Antennen, erhält man statt des geschlossenen einen offenen Schwingkreis, bei dem die Kraftlinien in den umgebenden Raum ausstrahlen. Mit dem experimentellen Nachweis hatte Heinrich Hertz die physikalischen Grundlagen für die drahtlose Nachrichtenübermittlung vollständig erarbeitet; an eine Nutzung der elektromagnetischen Wellen zur Nachrichtenübermittlung hat er jedoch nicht gedacht.[14]

Die Sendemöglichkeiten wurden 1897 durch den von Guglielmo Marconi entwickelten Luftleiter,[15] der Empfang 1890 durch die Röhre von Edouard Branly,[16] wegen seiner

[12] Wessel: Carl Johann Senfft, S. 260–263.
[13] Wessel 1985, S. 74–77.
[14] Wessel: Die Funkentelegraphie 2004, S. 173–216, hier S. 178–179.
[15] Reade: Marconi and the Discovery of Wireless 1963; Baker: A History of the Marconi Company 1970.
[16] Anschütz: Edouard Eugene Branly. In: Jäger 1996, S. 56.

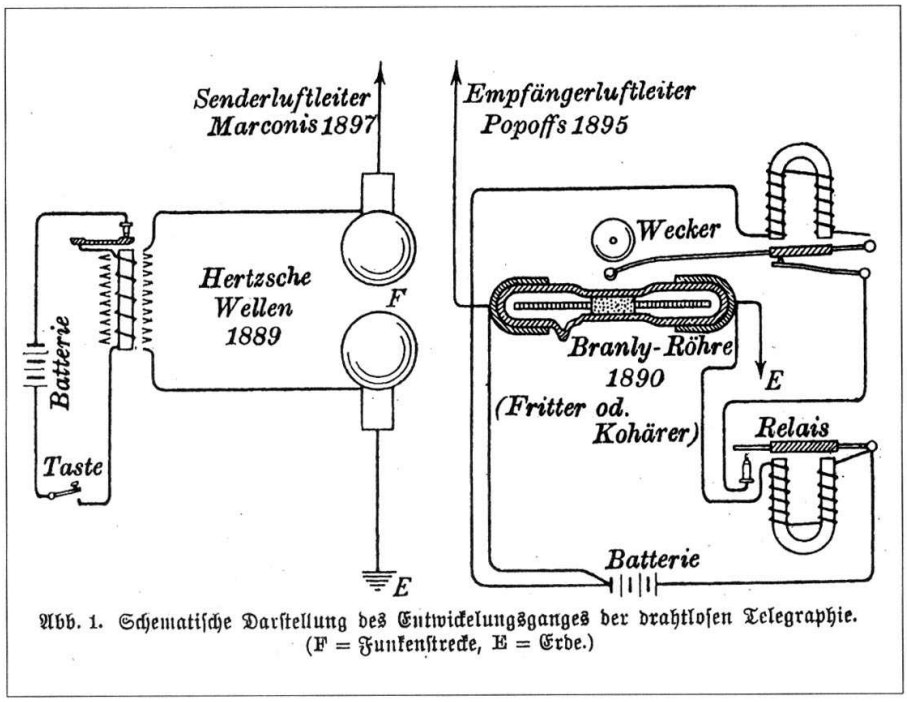


Abbildung 25.2:
Schematische Darstellung der ersten Funkapparaturen (1889–1897)
Mannesmann-Archiv

Funktionsweise auch Kohärer oder Fritter genannt, und die Antenne von Alexander Popow[17] im Jahre 1895 verbessert. Die Entdeckungen und Erfindungen dieser und weiterer Naturwissenschaftler und Ingenieure aus verschiedenen Ländern Europas sowie in Nordamerika lagen zeitlich eng zusammen. Das spricht zum einen dafür, dass die Nachrichtenübermittlung ohne Draht als wichtig angesehen wurde und die Zeit zur Lösung der damit verbundenen Probleme gekommen war; zum anderen ist es ein Beleg dafür, dass Forschungseinrichtungen bereits in ein Kommunikationsnetz eingebunden waren und irgendwo in Europa und in den USA gemachte Fortschritte bald bekannt und auch genutzt wurden.

Während der Ingenieur Daniel Edward Hughes,[18] der u. a. als Erfinder eines weltweit eingesetzten Drucktelegraphen bekannt geworden ist, Ende der 1880er Jahre im Laboratorium mit elektromagnetischen Schwingungen zur Nachrichtenübermittlung nur experimentiert hatte, könnte es Popow gewesen sein, der 1896 das erste Funktelegramm übermittelt hat. Er soll 1897 Schiffe mit Anlagen ausgerüstet haben, die einen Nachrichtenaustausch im Umkreis von fünf Kilometern ermöglichten. Marconi hatte etwa zur selben Zeit die Vorteile des offenen Schwingungskreises erkannt und ab 1897 Morsezeichen auf rasch wachsende Entfernungen übermittelt.

[17] Kirpal: Alexander Stepanowitsch Popow. In: Jäger 1996, S. 301–302.
[18] Anschütz: David Edward Hughes. In: Jäger 1996, S. 184.

Guglielmo Marconi

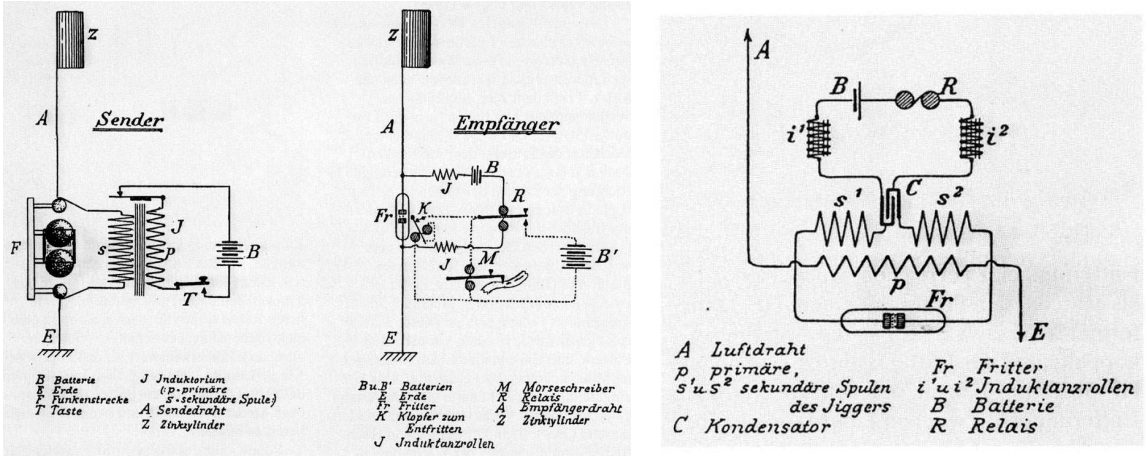


Abbildung 25.3:
Guglielmo Marconi (1874–1934)
Schaltungen der Marconi-Apparate (1897) und des Fritterempfängers (1898/99)
Mannesmann-Archiv

Adolf Slaby von der TH Charlottenburg,[19] der auf Wunsch des Deutschen Kaisers als Gast an den ersten Versuchen Marconis teilgenommen hatte, wiederholte kurze Zeit später die Versuche mit Unterstützung durch seinen Assistenten Georg Graf von Arco[20] in Sacrow, nahe Potsdam. Der „Luftdraht“, also die Antenne, wurde am Glockenturm der dortigen Heilandskirche befestigt, der „Strahlapparat“, also der Sender, befand sich unter den Arkaden am See. Die benötigte hohe Spannung lieferte ein Funkeninduktor; die Havel diente als „Erde“, als Ableiter. Der Empfänger war in der auf der anderen Seite des Sees gelegenen Matrosenstation aufgestellt worden. Der Fritter im Empfangsapparat bestand aus einer Glasröhre, in der sich Metallspäne befanden. Bei einem elektrischen Impuls wurden diese leitend und backten zusammen, der Stromkreis wurde geschlossen und setzte eine Klingel in Betrieb. Nachdem ein Hämmerchen die Metallspäne gelockert hatte, konnte der Vorgang von neuem beginnen.

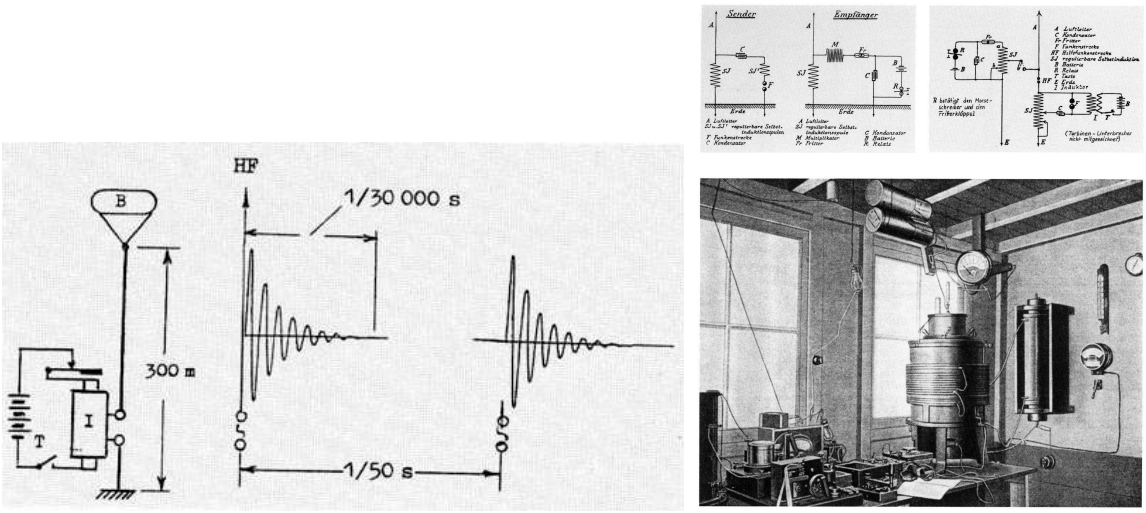


Abbildung 25.4:
Schematische Zeichnung der Slaby-Schalter (1900/02)
und Slaby-Station der AEG (1901)

Mannesmann-Archiv

Der Kaiser, der sich der hohen Bedeutung der Telegraphie ohne Draht für zivile Bereiche und militärische Operationen zu Land und vor allem zur See klar bewusst war, kam am 27. August 1897 – also vor gut 110 Jahren – nach Sacrow, um die Versuche in Augenschein zu nehmen und ein Telegramm drahtlos über den See hinweg zu funken. Wie die Gegenseite mittels des durch den See verlegten Telefonkabels meldete, gelang das Experiment. Der kaiserliche Funkspruch „Die Zukunft steht im Zeichen des Verkehrs“ konnte

[19] Mauel: Adolf Slaby. In: Weiher 1983, S. 176–177. Kirpal: Adolf Slaby. In Jäger 1996, S. 358–359.
[20] Hahn: Georg Wilhelm Alexander Graf von Arco. In: Weiher 1983, S. 11–13. Kirpal: Adolf Slaby. In: Jäger 1996, S. 21–22.

einwandfrei bestätigt werden.[21] Übrigens war es Slaby, der in seinen Vorträgen u. a. vor dem Kaiser und den Mitgliedern des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleißes den Begriff „Funkentelegraphie“ prägte. Der elektrische Funke schien ihm das Charakteristische der neuen Technik. Slaby fand die erste technisch wichtige Erklärung der Schwingungen in den Antennen; er befasste sich als einer der ersten mit der Messung der Wellenlängen, und er schaffte es, abgestimmte Schwingungen zu erzeugen. Gemeinsam mit Graf Arco schuf er das erste deutsche System der drahtlosen Telegraphie, nämlich das, mit dem im August 1897 die Versuche in Sacrow durchgeführt wurden – Slaby/Arco arbeiteten mit der AEG zusammen.[22]

Einem weiteren Deutschen, Karl Ferdinand Braun,[23] gelang es, die empfindlichen Nachteile des Marconi-Systems, das im Grunde auch der Anlage von Slaby/Arco zugrunde lag, zu verbessern. Weil die Marconi-Anlage so gut wie keine Abstimmung besaß, versetzte sie jeden im Sendebereich liegenden Empfänger in Schwingungen. Bei dem 1898 von Braun zum Patent angemeldeten System handelte es sich um ein nichtstrahlendes Primärsystem, das aus Schwingkreis und Funkenstrecke bestand und gekoppelt wurde mit einem Sekundärsystem, das wiederum die Antenne zur Abstrahlung der elektrischen Energie enthielt. Als Detektor für die schnellen Wellen diente ein Kristallgleichrichter. 1896 verlegte er, um die Dämpfung zu vermeiden, die Funkenstrecke aus dem eigentlichen Antennenkreis in einen besonderen, geschlossenen Schwingungskreis, der mit dem ersten direkt oder induktiv gekuppelt war. Ähnlich verfuhr er beim Empfänger. Wie bedeutend diese Entwicklung war, dafür dürfte die Verleihung des Nobelpreises für Physik im Jahre 1909 gemeinsam an Marconi und Braun überzeugender Beweis sein.

Die bei Brauns Sender entstehende Doppelwelligkeit wurde 1906 durch Max Wien[24] von der TH Danzig durch die von diesem entwickelte Löschfunkenstrecke, die in den Sender eingebaut wurde, vermieden. Durch die Verwendung von Platten mit geringer Leitfähigkeit wurde der überspringende Funke rasch gelöscht („Löschfunken“); die elektrische Energie konnte nicht zurückfließen, sondern wurde über die Antenne mit deren Eigenfrequenz abgestrahlt. In einer Sekunde entstanden und verlöschten 1.000 Funken, wodurch schwach gedämpfte Schwingungen von nur einer Wellenlänge erzeugt werden konnten. Diese waren im Empfänger als musikalischer Ton zu hören; deshalb sprach man auch vom „tönenden Löschfunken“. Diese ab 1908 verwendete Neuerung brachte eine schärfere Abstimmungsmöglichkeit und damit zugleich eine größere Reichweite. Später gelang es Valdemar Poulsen, ungedämpfte Schwingungen im Lichtbogen zu erzeugen.[25]

Bei der praktischen Nutzung der Funktelegraphie hatte zunächst Marconi Maßstäbe gesetzt und den Konkurrenten Grenzen aufgezeigt. Er hatte sein System bereits 1898

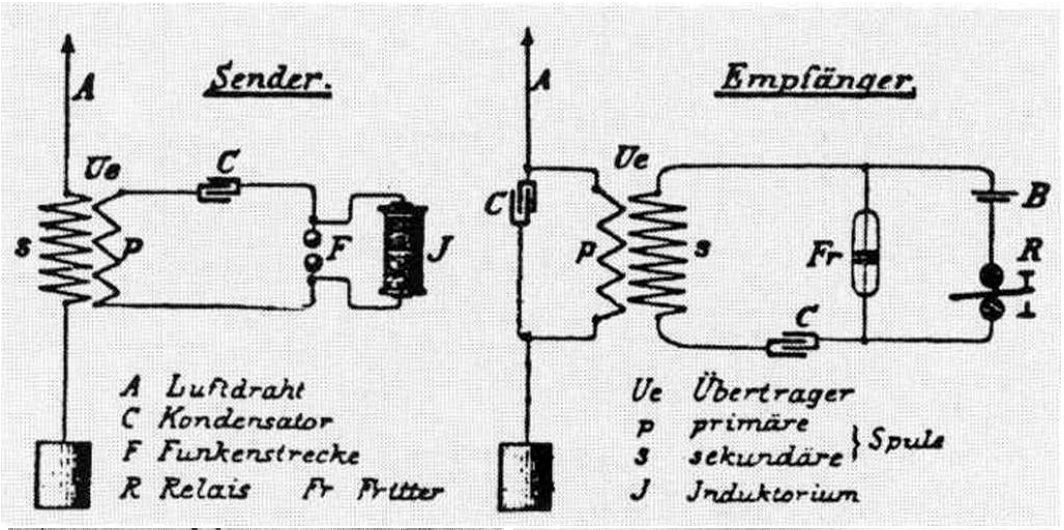
[21] Slaby 1905. Hennig: Funken müssen fliegen für den Kaiser 2007. König: Wilhelm II. und die Moderne 2007.

[22] Wessel: Die Funkentelegraphie 2004, S. 183.

[23] Goetzeler: Karl Ferdinand Braun. In: Weiher 1983, S. 28–30; Kirpal: Karl Ferdinand Braun. In: Jäger 1996, S. 57–58.

[24] Goetzeler: Max Carl Wien. In: Weiher 1983, S. 195–196; Dittmann: Max Carl Werner Wien. In: Jäger 1996, S. 406–407.

[25] Thurn: Die Poulsenanlage bei der Hauptfunkstelle in Königswusterhausen 1920 (nachbearbeitet von Peter Baier, 2004).



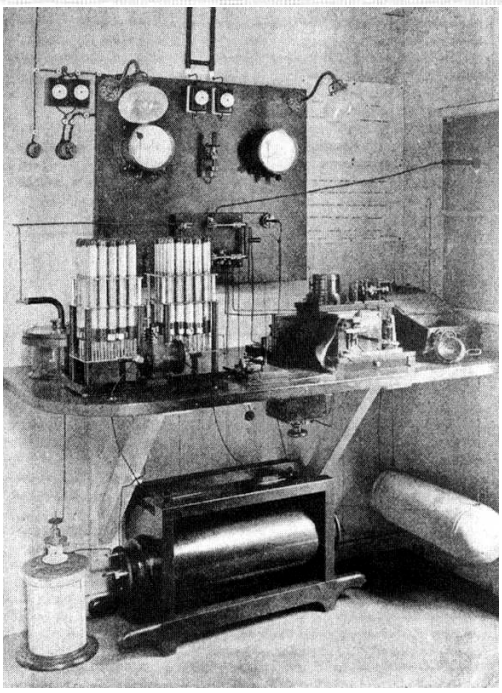


Abbildung 25.5:
Mit gedämpften Wellen arbeitende Braun-Station von S & H (1900)
Ferdinand Braun (1850–1918)

Mannesmann-Archiv

patentieren lassen und in der britischen Royal Navy einen starken Partner gefunden. Diese war bereit, die neue Technik mitzuentwickeln, und ihre Schiffe durch entsprechende Anlagen strategisch und taktisch aufzurüsten. Nachdem der Nachweis erbracht war, dass selbst an nebligen Tagen ein drahtloser Verkehr zwischen dem Festland und einem Schiff auf See möglich war, wurden die Versuche intensiviert. Im März 1899 wurde erstmals der Ärmelkanal funktelegrafisch überbrückt; im selben Jahr kommunizierten während eines Seemanövers zwei britische Kriegsschiffe miteinander; außerdem tauschte das Dampfschiff „St. Paul“ bis in eine Entfernung von rd. 66 Kilometern von der Küste Telegramme mit einer Landstation aus. Die britische Admiralität war begeistert und erteilte der Wireless Telegraph und Signal Company in London, die 1897 zur Verwertung der Marconi-Erfindungen gegründet worden war, Aufträge zur funktechnischen Ausrüstung von Schiffen und Küstenstationen.[26]

Der deutsche Reichskanzler vertrat 1901 die Auffassung, dass die „Verwendung der Funkentelegraphie zur Nachrichtenübermittlung außer Zweifel [stehe und] die erzielten Erfolge … schon jetzt dahin geführt [hätten], dass die Kriegsschiffe und ebenso die Handelsmarine mit der Verständigung durch Funkentelegraphie als mit einer dauernden Einrichtung rechne[te]n“.[27] Inzwischen waren auch die ersten deutschen Funktelegraphenanlagen für den allgemeinen Verkehr, und zwar zwischen der Seetelegraphenanstalt Borkum Leuchtturm und dem Leuchtfeuerschiff Borkum Riff sowie auf dem Schnelldampfer „Kaiser Wilhelm der Große“, in Betrieb genommen worden. Bezeichnenderweise war es der Norddeutsche Lloyd gewesen, der auf die Bedeutung der Funktelegraphie für den Verkehr auf See aufmerksam gemacht und die finanziellen Mittel für die drei Anlagen übernommen hatte; dieser zahlte auch einen Teil der Lizenzgebühren, die für den laufenden Betrieb der Stationen erforderlich waren. Es handelte sich um Marconi Anlagen, die von deren Personal bedient wurden. Das war für den deutschen Kaiser und das Reichsmarineamt ein wesentlicher Grund, darauf zu dringen, dass deutsche Schiffe mit deutschen Anlagen ausgerüstet wurden.[28]

In Deutschland gab es seit 1897/98 zwei Gesellschaften, die Funkstationen bauten und betrieben, nämlich die AEG, deren Anlagen nach dem System Slaby/Arco arbeiteten, und Siemens & Halske, die das System Braun verwendeten.[29] Beide lieferten sich untereinander sowie mit der Wireless in London einen harten Konkurrenzkampf. Dieser ging soweit, dass die Marconi-Gesellschaft, von der damals mit großem Abstand die meisten Küsten- und Schiffsfunkstationen waren, ihren Einrichtungen den Funkverkehr mit Stationen aller anderen Funksysteme untersagte.[30] Auch die deutsche Regierung behielt sich noch im Jahre 1906 die Genehmigung zum Betrieb von Anlagen nach dem

[26] Wessel: Die Funkentelegraphie 2004, S. 187–189.

[27] Bundesarchiv, 2.2.1., Nr. 29922, Bd. II, Bericht vom 11. Juni 1901 sowie Bl. 101, 109, 114–115 und 197.

[28] Jentsch: Die Fortschritte der Funkentelegraphie (1901) Nr. 8, S. 251–254; Jentsch: Die erste deutsche Funkentelegraphenanlage (1900), S. 573-582; Weise: Der Bremer Telegraphen-Verein (1907), S. 459–467; Weise: Die reichseigene Ferndruckeranlage in Bremen (1909), S. 39–52;
Scholl: Marconi versus Telefunken. In: Beyerl/Weber 1998, S. 279.

[29] Mahr: Im Kraftfeld von Zeitgeschehen – Zeitgeist – Erfindergeist. In: Thiele 2003, S. 15–21.

[30] Pfitzner: Die internationale Vorkonferenz für Funkentelegraphie in Berlin (1904), S. 70–71. Vgl. auch (1907) Nr. 12, S. 353–358.

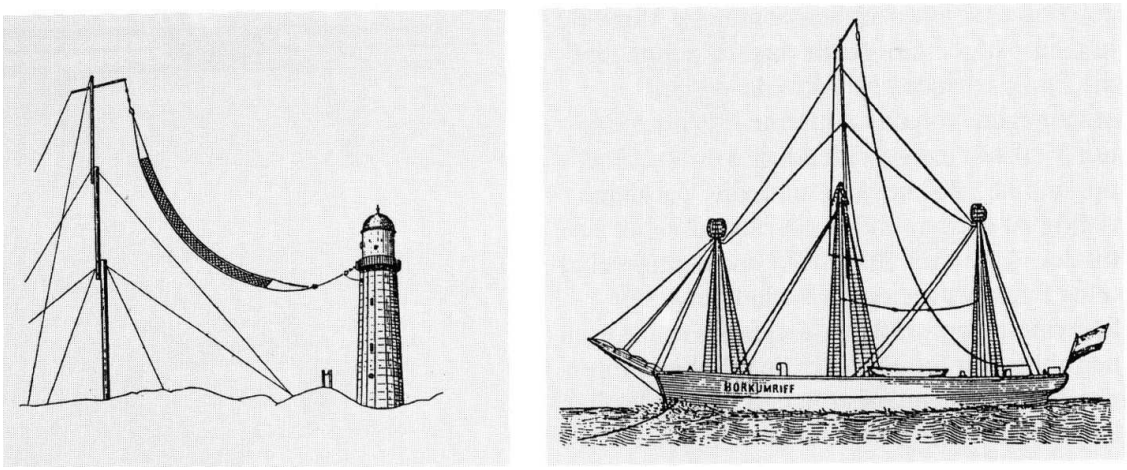


Abbildung 25.6:
Antennen der ersten deutschen Funkanlagen Borkum Leuchtturm und Feuerschiff Borkum Riff
Mannesmann-Archiv

Marconi-System vor. Damit waren die Vorteile, die der Funkverkehr bot, empfindlich eingeschränkt.[31]

Im Jahre 1903 gab es bereits 16 Marconi-Stationen diesseits und jenseits des Atlantiks sowie 54 auf Passagierdampfern. Die Reichweite der Anlagen lag bei mehreren 100 Kilometern.[32] Die Hamburg-Amerika-Reederei, HAPAG, rüstete zunächst ihre großen Passagierdampfer mit Apparaten nach dem System Slaby/Arco der AEG aus. Als Prinz Heinrich von Preußen 1902 von New York aus mit dem Schnelldampfer „Deutschland" zurück in die Heimat reiste und von unterwegs eine Dankadresse an Präsident Roosevelt telegraphieren wollte, weigerte sich die amerikanische Küstenstation, das Telegramm aufzunehmen und weiterzuleiten. Im darauf folgenden Jahr wechselte die HAPAG zum Marconi-System, mit dem auch der Norddeutsche Lloyd, Bremen, und die übrigen Nordatlantik-Reedereinen, soweit sie ihre Schiffe mit Funkanlagen ausgerüstet hatten, arbeiteten.[33]

Als der Kaiser auf einer Fahrt mit seiner Hochseejacht, die selbstverständlich eine deutsche Anlage besaß, die gleiche Erfahrung machen musste wie zuvor sein Bruder, drang er energisch auf eine Zusammenarbeit der beiden deutschen Gesellschaften. Er wollte auf jeden Fall vermeiden, dass die Briten sich nach dem Telegraphen-Seekabel-Monopol ein zweites, noch weit umfassenderes Monopol in der globalen Kommunikation sicherten.[34] Im Jahre 1903 kam es zu einer Einigung zwischen der AEG auf der einen sowie Siemens & Halske auf der anderen Seite, und es entstand das gemeinsame Unternehmen „Telefunken". Der Kaiser vermerkte auf dem Telegramm, mit dem ihm Emil

[31] Bundesarchiv, 2.2.1, Nr. 29848, Bericht des Reichskanzlers vom 26. September 1906.
[32] Scholl: Marconi versus Telefunken. In: Beyerl/Weber 1998, S. 280.
[33] Scholl: Marconi versus Telefunken. In: Beyerl/Weber 1998, S. 281.
[34] Haeusler: 100 Jahre Telefunken (2003), S. 31. Pieper: Die englischen Bemühungen vor dem Ersten Weltkrieg um ein weltweites Kabel- und Funkmonopol (1975), S. 79–95, hier bes. S. 87.

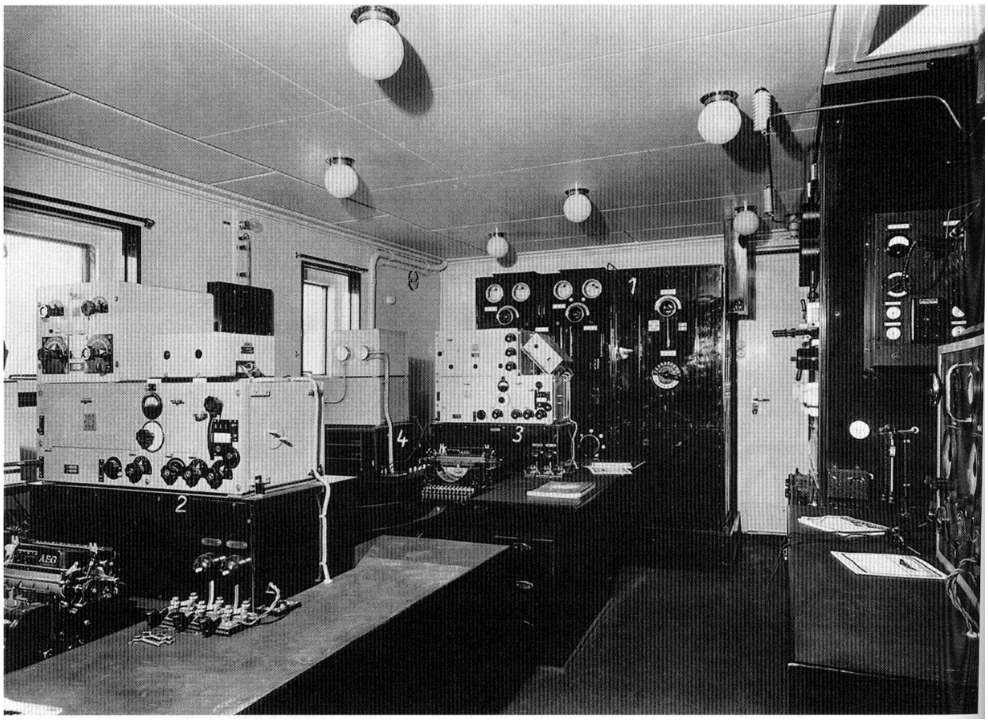


Abbildung 25.7:
Funkstation eines Übersee-Dampfers (1911)
Mannesmann-Archiv

Rathenau und Arnold von Siemens den erfolgreichen Ausgang der Verhandlungen meldeten: „Na endlich“ Gott sei Dank!“.[35] In der Folge wurden die deutschen Dampfer auf Telefunken-Anlagen umgerüstet.

Der Kampf mit Marconi ging nicht nur weiter, sondern er wurde auch härter. Als sich der deutsche Kaiser 1905, während der ersten Marokkokrise, mit dem Dampfer „Hamburg“ der HAPAG im Mittelmeer befand und ein Telegramm über die Funkstation auf der deutschen Nordseeinsel Borkum nach Berlin senden wollte, weigerte sich diese. Daraufhin wurden die Stationen Borkum Leuchtturm und Borkum Riff gleichfalls auf das deutsche System umgerüstet. Außerdem wurden in Norddeich zwei Sendeanlagen errichtet, die 1907 mit einer Reichweite von bis zu 1.500 Kilometern den Betrieb aufnahmen.[36] 1906 gab es im Deutschen Reich sieben Küstenstationen und fünf Stationen auf Feuerschiffen für den öffentlichen Funkverkehr. Die Reichweite normaler Stationen betrug 200 bis 400 Kilometer, die großer Stationen 1.000 Kilometer und mehr.[37] Im letzten Jahr vor Ausbruch des Ersten Weltkrieges waren es insgesamt 17 Stationen, davon fünf an der Ost- und zwölf weitere an der Nordseeküste; acht befanden sich auf vor der Küste

[35] Am 27. Mai 1903 vom Döberitz-Übungsplatz an den Kaiser in Karlsbad; Bundesarchiv 2.2.1, Nr. 29922.
[36] Scholl: Marconi versus Telefunken. In: Beyerl/Weber 1998, S. 284.
[37] Bundesarchiv, 2.2.1, Nr. 29848, Bericht des Reichskanzlers vom 26. September 1906.

verankerten Feuerschiffen. Von den 17 Stationen vermittelten elf beschränkt und die restlichen sechs den öffentlichen Funkverkehr unbeschränkt. Je eine Landstation wurde vom Norddeutschen Lloyd und von den Preußischen Eisenbahnen, die übrigen von der staatlichen Reichspost- und Telegraphenverwaltung betrieben. Von den Stationen auf den Feuerschiffen gehörte je eine den Städten Hamburg und Bremen, zwei der Kaiserlichen Marine, drei der Preußischen Wasserbauverwaltung und die letzte, nämlich auf dem Feuerschiff „Borkum Riff", der Reichspost- und Telegraphenverwaltung.[38]

Um den Krieg der Systeme beizulegen, hatte die Reichsregierung zu einer internationalen Hauptkonferenz für Funkentelegraphie eingeladen. Diese fand 1906 in Berlin statt; insgesamt 21 Staaten waren durch Delegationen vertreten. Sie einigten sich auf eine Verkehrspflicht der Küstenstationen mit Bordstationen. Außerdem schlossen, sehr zum Ärger der Marconi-Gesellschaft, 15 Delegationen ein Zusatzabkommen, das eine weitgehende Gleichstellung der Funksysteme und eine Verkehrspflicht auch der Bordstationen untereinander beinhaltete. Dieses Abkommen wurde von Großbritannien weder unterzeichnet noch paraphiert.[39] So ging der Funkkrieg – zulasten vor allem der Reedereien und zum Ärger der Passagiere und unter Umständen sogar zum Schaden beider – weiter. Zum Einlenken wurden die Briten zum einen durch die fortschrittliche deutsche Funktechnik und zum anderen durch ein furchtbares Seeunglück gezwungen, das bis heute nachwirkt. Während Marconi noch immer mit seinem veralteten, weniger leistungsfähigen „Knarrfunken"-System der „Vor-Braun/Wien-Zeit" arbeitete, setzte Telefunken die „tönenden" oder „Löschfunkenstrecken", d. h. ungedämpfte, hochfrequente Schwingungen, ein. Das verschaffte der deutschen Gesellschaft eine günstige Verhandlungsposition gegenüber der bis dahin für Verhandlungen nicht zugänglichen Marconi-Gesellschaft.[40] Mit politischer Rückendeckung aus Berlin einigten sich die ehemaligen Kontrahenten 1911 auf einen Patentaustausch sowie die Gründung einer gemeinsamen Gesellschaft, der „Deutschen Betriebsgesellschaft für drahtlose Telegraphie mbH" (DEBEG), Berlin.[41]

Diese übernahm alle von Marconi und Telefunken auf deutschen Schiffen betriebenen Funkanlagen. Ferner wurde eine Zusammenarbeit aller DEBEG-Stationen untereinander sowie mit Marconi-Stationen auf fremden Schiffen und im Ausland vereinbart. Diese Kooperation trug bald Früchte, vor allem für die Entwicklung des Funkverkehrs im Deutschen Reich und auf deutschen Seeschiffen. Im Herbst 1910 besaßen insgesamt 78 deutsche Handelsschiffe Funkanlagen, im Herbst 1911 waren es bereits rd. 200 – mit stark zunehmender Tendenz.[42] Dennoch wurden die Notsignale der sinkenden „Titanic" von viel zu wenigen Schiffen gehört. Ein weitaus größerer Teil der Passagiere und Besatzungsmitglieder hätte dieses Unglück überlebt, wenn erstens mehr Schiffe – v. a. auch Frachtschiffe – mit einer Funkanlage ausgerüstet gewesen wären und zweitens, wenn die Schiffe mit Empfangsanlagen sich an die Empfehlungen der Konferenz von 1906 gehalten

[38] Bundesarchiv, Rep. 93 E, Nr. 3037, Internationales Verzeichnis, S. 85–114; vgl. auch Nachtrag Nr. 1, S. 43–47; Nr. 2, S. 62; Nr. 3, S. 70; Nr. 4, S. 84-86; Nr. 5, S. 95–96; Nr. 11, S. 191–192; Nr. 12, S. 207–208; Nr. 13, S. 128; Nr. 14, S. 236–237.
[39] Scholl: Marconi versus Telefunken. In: Beyerl/Weber 1998, S. 284.
[40] Wessel: Die Funkentelegraphie 2004, S. 193–196.
[41] 50 Jahre Debeg. 1911–1961, Berlin 1961.
[42] Scholl: Marconi versus Telefunken. In: Beyerl/Weber 1998, S. 285.

Abbildung 25.8:
Werbung der Debeg (1911)

Mannesmann-Archiv

hätten.[43] Die zweite internationale Funkkonferenz, 1912 in London, an der Delegationen aus 54 Staaten teilnahmen, stand ganz unter dem Eindruck des Untergangs der für unsinkbar gehaltenen „Titanic“. Großbritannien, Japan und Italien gaben ihre Vorbehalte gegen die Verkehrspflicht der Bordstationen untereinander auf. Einige Länder, darunter die USA, machten sogar eine Funkstation für alle Schiffe mit mehr als 50 Passagieren zur Pflicht.[44]

Bei den Drucksachen der Reedereien,[45] die damals meist künstlerisch gestaltete Abbildungen ihrer Schiffe zeigten, dauerte es einige Jahre, bis die Antennendrähte zwischen den Masten auf die Ausrüstung mit einer Funkanlage verwiesen, z. B. beim Postdampfer

[43] Scholl: Marconi versus Telefunken. In: Beyerl/Weber 1998, S. 286. Wessel: Das Telefon. In: Münker/Roesler 2000, S. 13–34, hier S. 15.
[44] Die zweite Weltfunkkonferenz in London. In: Archiv für Post und Telegraphie (1912) Nr. 18, S. 559.
[45] Mannesmann-Archiv, Gesammelte Unterlagen von den Weltreisen des Vertriebsvorstands Carl J. Senfft aus den Jahren 1900 bis 1912, M 33.070–M 33.071.

der Deutsch-Ostafrika-Linie „Bürgermeister“ bis 1905. In den Beschreibungen hatte man dagegen den Hinweis darauf viel früher für angebracht gehalten. Bei der Präsentation des Doppelschrauben-Schnelldampfers „Kaiser Wilhelm II.“ des Norddeutschen Lloyd, dem damals größten weltweit, wurde nicht nur auf die Telefon-Zentrale an Bord, sondern auch auf die Funkanlage aufmerksam gemacht. Es heißt dort „This ship, too, is fittet out with the apparates for wireless telegraphy and is thus able to send and receive messages on passing the land-stations“. An einen Verkehr mit anderen Schiffen war offensichtlich noch nicht gedacht, weil erst wenige Schiffe mit derartigen Anlagen ausgerüstet waren und die Technik noch nicht zuverlässig war. Übrigens ist der „Telegraphist“ noch nicht unter der Besatzung aufgeführt.

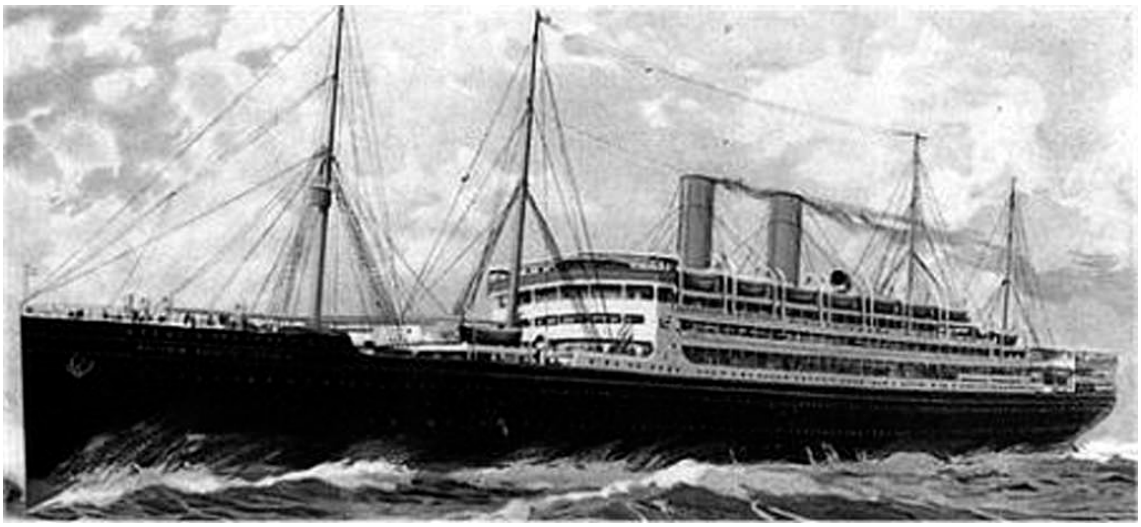


Abbildung 25.9:
Deutscher Überseedampfer „Kaiserin Auguste Victoria“ mit Funkanlagen
Mannesmann-Archiv

Über die zwischen Hamburg und New York im Liniendienst laufende „Kaiserin Auguste Victoria“ erfahren wir, dass diese elektrisches Licht und Telefone an Bord hatte, außerdem ein Informationsbüro der „Atlantic Daily News“ sowie ein „German-American Post-Office“.

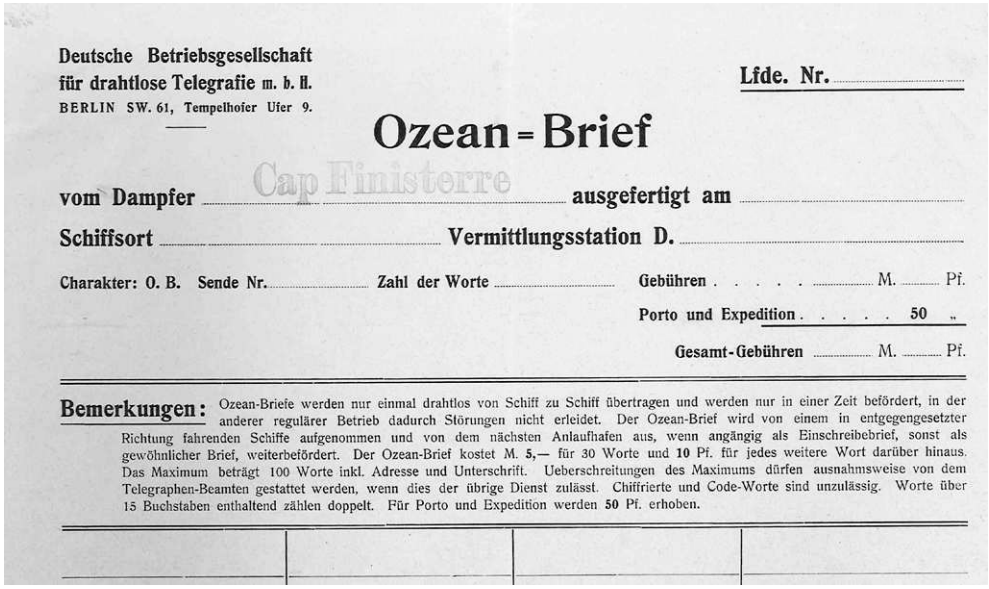
> *„Die Marconi-Station ist fast täglich in Kommunikation mit Küstenstationen oder passierenden Schiffen. Die Zeit für die Entgegennahme von Depeschen, sowie die entsprechenden Raten werden von Fall zu Fall an der Marconi-Tafel bekannt gegeben. . . .*
> *Depeschen für ankommende oder ausgehende Dampfer können gesandt werden:*
> *über Babylon, L. I. etwa 5 Stunden von New York,*
> *über Sagaponack. L. I. etwa 8 Stunden von New York,*
> *über Siasconset, Mass., etwa 14 Stunden von New York,*

über Sable Island via Camperdown, N. S., etwa 40 Stunden von New York, und zwar zu folgenden Sätzen:
10 Cable-Worte – Adresse und Unterschrift werden nicht gezählt – $2.00 und 25 Cents für Landtelegraphenstrecke für Telegramme via Babylon oder Sagaponack, $3.00 und 75 Cents für Landtelegraphenstrecke via Siasconset, $4.00 und 50 Cents via Sable Islands.
Depeschen via Babylon, Sagaponack oder Siasconset, die für transatlantische Dampfer bestimmt sind, können in den Vereinigten Staaten in irgendeinem Bureau der Postal Telegraph Cable Co. oder der Western Union Telegraph Co. aufgegeben werden. Solche via Sable Islands bei der Western Union Telegraph Co., deren Bureaux genau über Weitergabe solcher Telegramme instruiert sind. Die Dampfer Amerika, Deutschland, Blücher, Moltke, Kaiserin Auguste Victoria und Hamburg können während der Fahrt jederzeit und in beiden Richtungen per long distance erreicht werden. Solche Depeschen müssen in N. Y., 27 William Street, aufgegeben werden.
Marconi Wireless Telegraph Company of America, 27 William Street, New York City.“

Die Reichweite war zu dieser Zeit noch begrenzt; deshalb war eine Beförderung drahtloser Nachrichten nur in der Nähe von Küstenstationen oder passierenden Schiffen möglich. Immerhin gab es noch bis 40 Stunden (etwa 650 Seemeilen) nach dem Auslaufen aus dem Hafen von New York eine Kommunikationsmöglichkeit ohne festen Boden betreten zu müssen – allerdings unter Nutzung hauptsächlich der Landtelegraphie. Dennoch war die Verbindung teuer und nur dann gerechtfertigt, wenn es sich um die Übermittlung wichtiger Nachrichten handelte. Immerhin kostete ein Telegramm mit bis zu zehn Worten rd. zwei durchschnittliche Tagesgehälter eines Technikers in einem deutschen Walzwerk.

Auf dem Doppelschrauben-Postdampfer „Cap Finisterre“ standen 1911 „für den Verkehr mit der Aussenwelt Apparate für drahtlose Telegraphie zur Verfügung“. *„Ozean-Briefe werden nur einmal drahtlos von Schiff zu Schiff übertragen und werden nur in einer Zeit befördert, in der anderer regulärer Betrieb dadurch Störungen nicht erleidet. Der Ozean-Brief wird von einem in entgegengesetzter Richtung fahrenden Schiffe aufgenommen und von dem nächsten Anlaufhafen aus ... weiterbefördert. Der Ozean-Brief kostet M 5,- für 30 Worte und 10 Pf für jedes weitere Wort darüber hinaus. Das Maximum beträgt 100 Worte inkl. Adresse und Unterschrift. Ueberschreitungen des Maximums dürfen ausnahmsweise von dem Telegraphen-Beamten gestattet werden, wenn dies der übrige Dienst zulässt. Chiffrierte und Codeworte sind unzulässig, Worte über 15 Buchstaben enthaltend zählen doppelt. Für Porto und Expedition werden 50 Pf erhoben.“*

Auch in dieser Zeit war noch kein ungebrochener transatlantischer Funkverkehr möglich. Deutsche Landstationen kommunizierten um 1910 auf Entfernungen von rd. 6.000 Kilometern. Etwa zur gleichen Zeit erreichten zwei Dampfer der Woermann-Reederei auf dem Weg nach Kamerun eine Verständigung bis 3.700 Kilometern. Im Juni 1914, wenige Wochen vor Ausbruch des Ersten Weltkrieges, nahm die Station Kamina in der deutschen Kolonie Togo ihren Betrieb auf. Es war die erste transkontinentale Funkstation außerhalb Europas und Nordamerikas. Die mit einem Kostenaufwand von rd. 4,5



Deutsche Betriebsgesellschaft
für drahtlose Telegrafie m. b. H.
BERLIN SW. 61, Tempelhofer Ufer 9.

Lfde. Nr. .....

Ozean-Brief

Cap Finisterre

vom Dampfer ..... ausgefertigt am .....

Schiffsort ..... Vermittlungsstation D. .....

Charakter: O. B. Sende Nr. ..... Zahl der Worte ..... Gebühren . . . . . M. ..... Pf.

Porto und Expedition . . . . . 50 „

Gesamt-Gebühren ..... M. ..... Pf.

Bemerkungen: Ozean-Briefe werden nur einmal drahtlos von Schiff zu Schiff übertragen und werden nur in einer Zeit befördert, in der anderer regulärer Betrieb dadurch Störungen nicht erleidet. Der Ozean-Brief wird von einem in entgegengesetzter Richtung fahrenden Schiffe aufgenommen und von dem nächsten Anlaufhafen aus, wenn angängig als Einschreibebrief, sonst als gewöhnlicher Brief, weiterbefördert. Der Ozean-Brief kostet M. 5,— für 30 Worte und 10 Pf. für jedes weitere Wort darüber hinaus. Das Maximum beträgt 100 Worte inkl. Adresse und Unterschrift. Ueberschreitungen des Maximums dürfen ausnahmsweise von dem Telegraphen-Beamten gestattet werden, wenn dies der übrige Dienst zulässt. Chiffrierte und Code-Worte sind unzulässig. Worte über 15 Buchstaben enthaltend zählen doppelt. Für Porto und Expedition werden 50 Pf. erhoben.

Abbildung 25.10:
„Ozean-Brief“ (1911)
Mannesmann-Archiv

Mio. M errichtete Station wurde schon wenige Monate nach Kriegsausbruch zerstört. Sie hat rechtzeitig die mit Funkanlagen ausgestatteten deutschen Schiffe der verbündeten Staaten von dem Kriegsausbruch in Kenntnis setzen und auffordern können, neutrale Häfen anzulaufen – man schätzt, dass dadurch allein Sachwerte von insgesamt 93,3 Mio. M vorerst gerettet wurden. Das im Pazifik stationierte Geschwader unter dem Kommando von Graf Maximilian von Spee ist über Telegraphen-Seekabel und die Funkstation Samao informiert worden.[46] 1918 wurden – unter Verwendung der neuen Röhrenverstärker – Signale der deutschen Station Nauen erstmals in Neuseeland empfangen, über eine Entfernung von 18.000 Kilometern.[47]

Auch immer mehr Frachtschiffe bedienten sich nun dieses modernen Kommunikationsmittels. Hier waren es nicht so sehr Sicherheitsaspekte oder auch die Möglichkeit, das Einlaufen in einen Hafen rechtzeitig anzukündigen, damit die Vorbereitungen für den Ladeverkehr etc. ohne Zeitverzug getroffen werden konnten, sondern vor allem das durch Funk erheblich gesteigerte Verfügungspotential der teuren Transportmittel. Sie konnten bei Bedarf zu anderen Bestimmungshäfen umgeleitet werden, ohne dafür Umwege machen zu müssen – eine effektive „Trampschifffahrt“ war erst jetzt möglich. Von Bedeutung für alle Seeschiffe waren neben den Wetterdaten das ab 1910 von den Statio-

[46] Friedewald: Funkentelegrafie und deutsche Kolonien. In: Handel 2002, S. 51–68, bes. 56–67.
[47] Wessel: Die Funkentelegraphie 2004, S. 203.

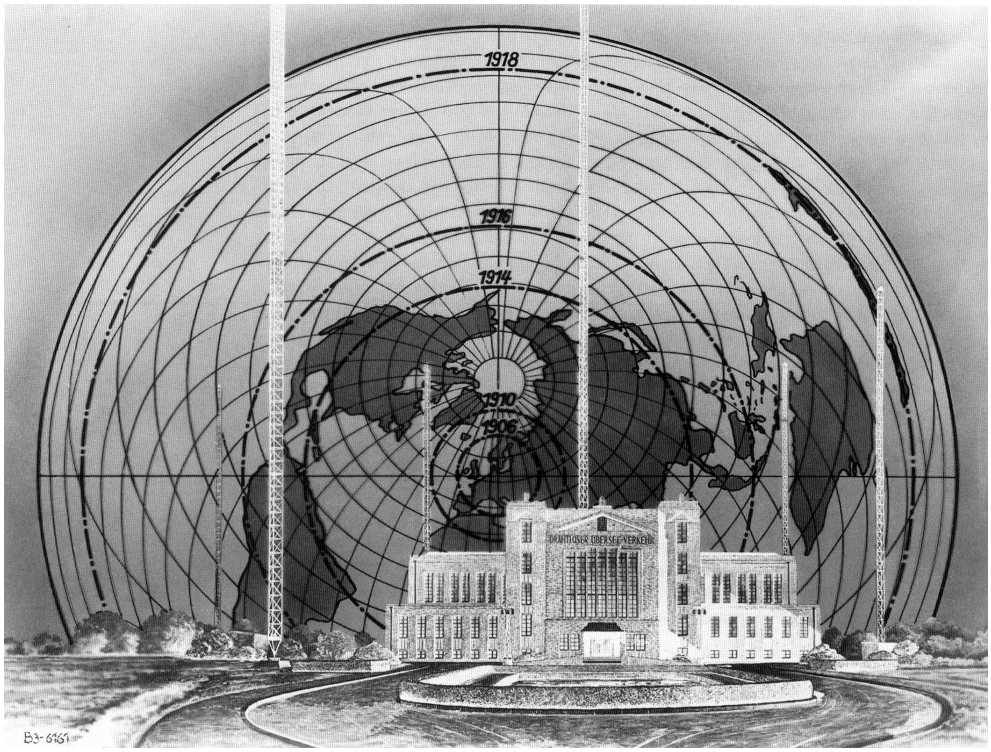


Abbildung 25.11:
Reichweitenentwicklung der Station Nauen (1906–1918)

Mannesmann-Archiv

nen Norddeich und Eiffelturm/Paris ausgestrahlte Zeitzeichen; es erlaubte endlich eine präzise Standortbestimmung.[48]

1913 gab es weltweit rd. 4.500 Küsten- und Bordstationen. Davon arbeiteten rd. 2.700, das waren rd. 60 Prozent, nach dem Marconi- oder dem Telefunkensystem; die übrigen verteilten sich auf insgesamt 22 verschiedene andere Systeme – allerdings nutzten davon viele die Lizenzen der beiden führenden Hersteller.[49] Praktisch alle Stationen sämtlicher Systeme, dass unterscheidet die damalige Zeit von unserer doch angeblich so fortschrittlichen „Handy-Welt“, konnten überall auf dem Erdball miteinander kommunizieren. Und dennoch hätte man das, was sich seit der Einführung des digitalen Mobilfunks 1993 in Deutschland wie weltweit entwickelt hat, 1913 noch für völlig unmöglich gehalten – was die Apparate und ihre Leistungsfähigkeit und erst recht, was die Verbreitung des mobilen Nachrichtenverkehrs betrifft: aus einer teuren Technik, die sich zunächst nur für Luxusdampfer und Kriegsschiffe rechnete, wurde ein im wirklichen Sinne Volks-Kommunikationsmittel.[50]

[48] Sobel: Längengrad 1998, S. 21–32. Williams: From Sails to Satellites 1992. Zur Bedeutung des „Zeitballwesens“ und des Zeitzeichens siehe die zahlreichen Beiträge im Archiv für Post und Telegraphie.
[49] Scholl: Marconi versus Telefunken. In: Beyerl/Weber 1998, S. 286.
[50] Wessel: Von der Festnetztelefonie zum Mobilfunk 2001, S. 136–140.

25.1 Bibliographie

50 Jahre Debeg, 1911–1961. Berlin: Behrens 1961.

Aischylos: Agamemnon, 1. Akt. In: Aschoff 1984, S. 19–23.

Anschütz, Helmut: David Edward Hughes. In: Jäger 1996, S. 184.

Anschütz, Helmut: Edouard Eugene Branly. In: Jäger 1996, S. 56.

Aschoff, Volker: *Geschichte der Nachrichtentechnik von ihren Anfängen bis zum Ende des 18. Jahrhunderts.* Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer 1984.

Baker, William John: *A History of the Marconi Company.* London: Methuen 1970.

Beyrer, Klaus und Birgit-Susann Mathis (Hrsg.): *So weit das Auge reicht. Die Geschichte der optischen Telegrafie.* Karlsruhe: Braun 1995.

Beyrer, Klaus: Von Berlin nach Koblenz und zurück. Die preußische optische Telegrafie. In: Beyrer/Mathis 1995, S. 177–194.

Beyerl, Guenter und Wolfhard Weber (Hrsg.): *Sozialgeschichte der Technik. Ulrich Troitzsch zum 60. Geburtstag.* Münster, New York, München, Berlin: Waxmann (Cottbuser Studien zur Geschichte von Technik, Arbeit und Umwelt, Bd. 7) 1998.

Bundesarchiv, 2.2.1., Nr. 29922, Bd. II, Bericht vom 11. Juni 1901 sowie Bl. 101, 109, 114–115 und 197.
Bundesarchiv, Rep. 93 E, Nr. 3037, Internationales Verzeichnis, S. 85–114; vgl. auch Nachtrag Nr. 1, S. 43–47; Nr. 2, S. 62; Nr. 3, S. 70; Nr. 4, S. 84-86; Nr. 5, S. 95–96; Nr. 11, S. 191–192; Nr. 12, S. 207–208; Nr. 13, S. 128; Nr. 14, S. 236–237.
Bundesarchiv, 2.2.1, Nr. 29848, Bericht des Reichskanzlers vom 26. September 1906.
Bundesarchiv 2.2.1, Nr. 29922. Am 27. Mai 1903 vom Döberitz-Übungsplatz an den Kaiser in Karlsbad.

Die zweite Weltfunkkonferenz in London. In: *Archiv für Post und Telegraphie* (1912) Nr. 18, S. 559.

Dittmann, Frank: Max Carl Werner Wien. In: Jäger 1996, S. 406–407.

Feldenkirchen, Wilfried: *Siemens. Von der Werkstatt zum Weltunternehmen.* München, Zürich: Pieper 1997.

Friedewald, Michael: Funkentelegrafie und deutsche Kolonien: Technik als Mittel imperialistischer Politik. In: Handel 2002, S. 51–68.

Goetzeler, Herbert: Karl Ferdinand Braun. In: Weiher 1983, S. 28–30.

Herbert Goetzeler: Max Carl Wien. In: Weiher 1983, S. 195–196.

Haeusler, Jochen: 100 Jahre Telefunken – wie alles anfing. In: *kleeblatt radio. Historisches vom Rundfunk. Aktuelles vom Förderverein des Rundfunkmuseums der Stadt Fürth* (2003) Heft 45, April, S. 31.

Hahn, Reinhold: Georg Wilhelm Alexander Graf von Arco. In: Weiher 1983, S. 11–13.

Handel, Kai (Hrsg.): *Kommunikation in Geschichte und Gegenwart.* Freiberg: Georg-Agricola-Gesammelte (Die Technikgeschichte als Vorbild moderner Technik; 27) 2002.

Hennig, Falko: Funken müssen fliegen für den Kaiser. Ein Festtag in Sacrow: Technikenthusiasten feiern das Jubiläum des ersten deutschen Funkspruchs. In: *Frankfurter Allgemeine Zeitung* vom 4. September 2007.

Jentsch, Otto: Die Fortschritte der Funkentelegraphie. Die 1. Funkentelegrafen nach dem System Marconi zwischen dem elektrischen Leuchtturm auf Borkum und dem Feuerschiff Borkum Riff. In: *Archiv für Post und Telegraphie* (1901), Nr. 8, S. 251–254.

Jentsch, Otto: Die erste deutsche Funkentelegraphenanlage für den allgemeinen Verkehr. In: *Archiv für Post und Telegraphie* (1900), Nr. 14, S. 573–582.

Jäger, Kurt (Hrsg.): *Lexikon der Elektrotechniker.* Berlin und Offenbach: VDE 1996.

Kirpal, Alfred: Alexander Stepanowitsch Popow. In: Jäger 1996, S. 301–302.

Kirpal, Alfred: Graf Georg von Arco. In: Jäger 1996, S. 21–22.

Kirpal, Alfred: Adolf Slaby. In: Jäger 1996, S. 358–359.

Kirpal, Alfred: Karl Ferdinand Braun. In: Jäger 1996, S. 57–58.

König, Wolfgang: *Wilhelm II. und die Moderne. Der Kaiser und die technisch-industrielle Welt.* Paderborn: Schöningh 2007.

Kromayer, Johannes: *Heerwesen und Kriegsführung der Griechen und Römer.* München: Beck 1928.

Mahr, Ewald: Im Kraftfeld von Zeitgeschehen – Zeitgeist – Erfindergeist. Das Phänomen der elektromagnetischen Wellen weckt Pioniergeist und Kreativität. In: Thiele 2003, S. 15–21.

Mannesmann-Archiv, Gesammelte Unterlagen von den Weltreisen des Vertriebsvorstands Carl J. Senfft aus den Jahren 1900 bis 1912, M 33.070–M 33.071.

Mauel, Kurt: Adolf Slaby. In: Weiher 1983, S. 176–177.

Pekáry, Thomas: Nachrichtenwesen. In: *dtv-Lexikon der Antike, Kulturgeschichte, Bd. 2* München 1970, S. 57.

Pfitzner, Hugo: Die internationale Vorkonferenz für Funkentelegraphie in Berlin. In: *Archiv für Post und Telegraphie* (1904), Nr. 3, S. 70–71. Vgl. auch *Archiv für Post und Telegraphie* (1907), Nr. 12, S. 353–358.

Pieper, Hans: Die englischen Bemühungen vor dem Ersten Weltkrieg um ein weltweites Kabel- und Funkmonopol. In: *Archiv für deutsche Postgeschichte* (1975) Heft 1, S. 79–95.

Reade, Leslie: *Marconi and the Discovery of Wireless.* London: Faber & Faber 1963.

Rückert, Maria Magdalena (Hrsg.): *Württembergische Biographien.* Bd. 1. Stuttgart: W. Kohlhammer 2006.

Scholl, Lars Ulrich: Marconi versus Telefunken. Drahtlose Telegraphie und ihre Bedeutung für die Schiffahrt. In: Beyerl/Weber 1998, S. 279.

Schürmann, Astrid: Kommunikation in der antiken Gesellschaft. In: Beyrer/Mathis 1995, S. 7–16.

Slaby, Adolf: *Entdeckungsfahrten in den elektrischen Ozean.* Berlin: Simion 1908, (5. Auflage) 1911.

Sobel, Dava: *Längengrad. Die wahre Geschichte eines einsamen Genies, welches das größte wissenschaftliche Problem seiner Zeit löste.* Berlin: Berlin Verlag 1996, München: btb 1998, S. 21–32.

Thurn, Hermann: Die Poulsenanlage bei der Hauptfunkstelle in Königswusterhausen (sic!). In: *Telegraphen- und Fernsprech-Technik*, Nr. 3, Berlin, Juni 1920 (nachbearbeitet von Peter Baier, 2004).

Thiele, Erdmann (Hrsg.): *Telefunken nach 100 Jahren. Das Erbe einer deutschen Weltmarke.* Berlin: Nicolai 2003.

Weiher, Sigfrid von (Hrsg.): Männer der Funktechnik. 70 Lebenswerke deutscher Pioniere von Funk, Rundfunk und Fernsehen. Berlin und Offenbach: VDE 1983.

Weise: Der Bremer Telegraphen-Verein. In: *Archiv für Post und Telegraphie* (1907) Nr. 15, S. 459–467.

Weise: Die reichseigene Ferndruckeranlage in Bremen. In: *Archiv für Post und Telegraphie* (1909) Nr. 2, S. 39–52.

Wessel, Horst A.: Carl Johann Senfft. In: Rückert 2006, S. 260–263.

Wessel, Horst A.: Die Entwicklung des elektrischen Nachrichtenwesens in Deutschland und die rheinische Industrie. Von den Anfängen bis zum Ausbruch des Ersten Weltkrieges. In: *Zeitschrift für Unternehmensgeschichte*, Beiheft 25, Wiesbaden: Steiner 1983, S. 141–145.

Wessel, Horst A.: Erste Kabelverbindungen mit dem Leuchtturm Roter Sand. In: Stölting, Siegfried (Hrsg.): *Leuchtturm Roter Sand 1885–1985.* Worpswede: Worpsweder Verlag 1985, S. 74–77.

Wessel, Horst A.: Verbinden, was Gott getrennt hat. Die Geschichte der Verlegung von Nachrichtenkabeln über den Atlantik ist eine Geschichte vieler Rückschläge. In: *mare. Die Zeitschrift der Meere*, No. 1, April–Mai 1997, S. 74–77.

Wessel, Horst A.: Das Telefon – ein Stück Allgegenwart. In: Münker, Stefan und Alexander Roesler (Hrsg.): *Telefonbuch – Beiträge zu einer Kulturgeschichte des Telefons.* Frankfurt am Main: Suhrkamp (edition suhrkamp; 2174) 2000, S. 13–34.

Wessel, Horst A.: Von der Festnetztelefonie zum Mobilfunk. Die Auswirkungen neuer technischer Möglichkeiten auf das Kommunikationsverhalten. In: Handel, Kai (Hrsg.): *Kommunikation in Geschichte und Gegenwart.* Freiberg (Schriftenreihe der Georg-Agricola-Gesellschaft; Bd. 27) 2001, S. 121–141.

Wessel, Horst A.: Die Entwicklung der Telekommunikation im 20. Jahrhundert – eine Revolution ohne Ende. In: Wessel, Horst A. (Hrsg.): *Das elektrische Jahrhundert. Entwicklungen und Wirkungen der Elektrizität im 20. Jahrhundert.* Essen: Klartext-Verlag 2002, S. 59–70.

Wessel, Horst A.: Die Funkentelegraphie. In: Wessel, Horst A. (Hrsg.): *Jahrhunderte der Hochspannung.* Berlin und Offenbach: VDE (Geschichte der Elektrotechnik; Bd. 21) 2004, S. 173–216.

Williams, John Ernest Derek: *From Sails to Satellites. The Origins and Development of Navigational Science.* Oxford: Oxford University Press 1992.

Zur Bedeutung des „Zeitballwesens“ und des Zeitzeichens, siehe die zahlreichen Beiträge im Archiv für Post und Telegraphie.

Figure 26.1:
Communication Museum Hamburg
Museum für Kommunikation Hamburg

Das Museum für Kommunikation Hamburg sagt „Ahoi"'!

Oliver Rump (Hamburg)

Abstract: The Communication Museum Hamburg says "Ahoy"!

Using this old seamanlike interjection at the beginning is no hazard. Hamburg – that means life next to the water, means harbour and trade, there are ships and people coming from all over the world. In addition, Hamburg stands for communication, for exchanging messages, news, information. A trip through the museum takes you along the history of communication. There is no strict chronological way you have to follow because the exhibition is based on the elements of earth, water and air.

Join the tideland post-vehicular on its way to the island Neuwerk, go for a ride with fast post-steamers and look through the eyes of a carrier pigeon on the hectic world lying beneath it. Thereby, you will meet the different varieties of human communication, from papyrus to satellite telephone, from pneumatic post to Internet. Of course, you will find Hamburg's particularities like the "Barkassenpost" in the famous harbour, the coffeetest-letterbox or the tram-post.

Dass dieser alte seemännische Ausruf am Anfang steht, kommt nicht von ungefähr. Hamburg – das ist Leben am Wasser, seit jeher. Hamburg – das ist Hafen und Handel, das sind Schiffe und Menschen aus aller Herren Länder. Und: Hamburg – das ist Kommunikation, der Austausch von Nachrichten, Neuigkeiten, Informationen.

Ein Rundgang durch das Museum nimmt Sie mit auf einen Weg durch die Geschichte der Kommunikation – nicht nur, aber besonders stark aus einem Hamburger, einem maritimen Blickwinkel.[1] Dabei geht es nicht streng chronologisch vor, sondern folgt den Elementen Land – Wasser – Luft. Begleiten Sie den Wattenpostwagen zur Insel Neuwerk, gehen Sie mit den Schnellpostdampfern auf Große Fahrt und blicken Sie mit den Brieftauben hinunter auf die hektische Welt. Dabei begegnen uns die verschiedensten Formen der menschlichen Kommunikation: vom Papyrus bis zum Satellitentelefon, von

[1] Museumsstiftung Post und Telekommunikation – getragen von der Deutschen Post AG und der Deutschen Telekom AG:
`http://www.museumsstiftung.de/`.

der Rohrpost bis zum Internet. Und natürlich auch Hamburger Besonderheiten wie die Barkassenpost im Hafen, der Kaffeeprobenbriefkasten oder die Straßenbahnpost. Übrigens: Wenn es nach Alexander Graham Bell gegangen wäre, der den Fernsprecher 1876 patentieren ließ, würden wir uns noch heute alle mit einem „Ahoy“ am Telefon begrüßen.

Das Museum bis in die 90er Jahre

Als am 8. April 1937 die Postgeschichtliche Sammlung im Gebäude des Postamtes 8 (Dovenhof) eröffnet wurde, war es eine Ausstellung, die zeigte, dass in Hamburg sieben Postanstalten bis zur Gründung des Norddeutschen Bundes existierten. Die Ausstellung im Dovenhof, wie sie damals präsentiert wurde, war keine nationalsozialistische Propagandaschau. Dennoch war sie dem Zentralismus des Führerstaates geschuldet, bildete doch Stephan durch die Vereinheitlichung des Postwesens den Schlusspunkt einer aus nationalsozialistischer Sicht als „Schwäche“ des Staatswesens empfundenen Heterogenität des Postwesens.

Während des Krieges wurde die Postgeschichtliche Sammlung nach Ahrensburg ausgelagert und am 4. Juli 1949 am Stephansplatz neu eröffnet. In der Folgezeit wuchs das Museum weiter. 1966 wurde der Fernmeldeteil des Postmuseum neu geordnet. Nachdem sich die Bezeichnung Postmuseum für die Postgeschichtliche Sammlung bereits seit 1949 eingebürgert hatte und die Oberpostdirektion (OPD) im Oktober 1966 einen Antrag auf die Namensführung Postmuseum stellte, erklärte sich der Bundesminister für das Post- und Fernmeldewesen bereit, die Bezeichnung Postmuseum am Stephansplatz offiziell einzuführen.

Mitte 1982 wurde bekannt, dass anlässlich der Kündigung der auch von der OPD genutzten Räume im Museum für Hamburgische Geschichte eine Änderung im Bereich der Sammlung anstand. Am 3. Juni 1983 wurde die OPD Hamburg gebeten, ein Konzept für eine neue Ausstellung zu erarbeiten. Dazu wurde eine regionale Arbeitsgruppe gegründet und zum 50-jährigen Jubiläum konnte das Postmuseum am Stephansplatz neu eröffnet werden. Das Museum hatte nun einen maritimen Schwerpunkt und zu Beginn der 1990er Jahre konnten durch Initiative des Museums Arbeitsplätze und Geräte des Seefunks vor der Vernichtung bewahrt werden.

Ab 1995 in neuer Trägerschaft

Mit den Postreformen 1989 und 1995 veränderte sich nicht nur die Deutsche Bundespost, sondern auch die Rechtsform der Postmuseen. Die öffentlich-rechtliche Museumsstiftung Post und Telekommunikation wurde 1995 gegründet und führt seither vier Museen für Post und Kommunikation. Standorte sind Berlin, Frankfurt, Nürnberg, Hamburg, dazu kommt das Archiv für Philatelie in Bonn. Unter der Rechtsaufsicht des Bundesfinanzministeriums tragen die Unternehmen Deutsche Post AG und Deutsche Telekom AG die Museumsstiftung in einer einzigartigen Form des Public Private Partnerships.

Auch das Post- und Telegrafengebäude am Stephansplatz traf die Umstrukturierung des Staatsbetriebes Post: Die Deutsche Post AG verkaufte es an den Hamburger Kaufmann Johann Max Böttcher. Mit neuem Eigentümer und veränderter Nutzung ergab

sich für das Museum die Möglichkeit, innerhalb des traditionsreichen Gebäudes umzuziehen. Zeitgemäß aktualisiert eröffnete es 1999 seine Dauerausstellung als Museum für Kommunikation Hamburg. Mit dem Wattwagen als eindrucksvoller Verknüpfung von Vergangenheit und Gegenwart im Raum „Botschaften über Land", einem eigenen Raum „Nachrichten unter und über Wasser" sowie dem Schwerpunkt Seefunk im Bereich „Kommunikation durch die Luft" hat das Museum für Kommunikation Hamburg seinen maritimen Schwerpunkt nun deutlich herausgearbeitet.

Das nördlichste Haus der Museumsstiftung ist jetzt eingebunden in das Netzwerk der insgesamt vier Schwestermuseen mit gemeinsamen Sammlungen, attraktiven Katalog-Veröffentlichungen und einem vielfältigen Wechselausstellungsprogramm. Dazu kommt eine Ausrichtung auf ein breiteres Publikum: Vor allem Familien und Kinder stehen im Fokus der Vermittlungsarbeit der Museumsstiftung. Ein abwechslungsreiches Veranstaltungsangebot und zahlreiche interaktive Stationen machen das Museum für Kommunikation Hamburg heute zu einem lebendigen Ort der Kommunikation.

Heute und morgen

Die besondere Ausrichtung des Museums für Kommunikation auf die maritimen Aspekte der Kommunikationsgeschichte in Hamburg und an der norddeutschen Küste hat von seiner Gründung bis heute zu einem klaren Profil in der Hamburger Museumsszene, aber auch innerhalb der vier Museen der Museumsstiftung Post und Telekommunikation geführt. Außerdem hat sich das Museum bei seiner erklärten Hauptzielgruppe Kinder, ob im Klassenverband in der Woche vormittags oder am Wochenende mit der Familie kommend, hervorragend eingeführt. Und behauptet. 2006 wurde es beim ersten Kindermuseumstest in der Hansestadt neben dem Museum für Völkerkunde zum beliebtesten Museum Hamburgs gekürt.

Die direkte Nähe zur Universität Hamburg auf der anderen Seite des Dammtorbahnhofs erleichtert die seit 2001 bestehende Kooperation mit dem Institut für Volkskunde. Die Verknüpfung von gelehrter Theorie in der Hochschule mit erprobter Praxis im Museum hat bereits zwei Ausstellungen mit überregionaler Reichweite hervorgebracht, zuletzt „Gegenwart und Zukunft der Kommunikation", präsentiert beim Wissenschaftssommer in Essen 2007.

2007 wurde das Gebäude des Museums an die DWI Grundbesitz GmbH verkauft. Die zukünftige Entwicklung des alten Postpalastes am Traditionsstandort Stephansplatz ist hierdurch wieder einmal offen. Für diese Museum mit seiner einzigartigen Ausrichtung – Flaschenpost, Seekabel, Küstenfunk, Wattenpost & Co. Sagen Ahoy! – ist kein besserer Standort denkbar als Hamburg, das Medienzentrum und kommunikative „Tor zur Welt"!

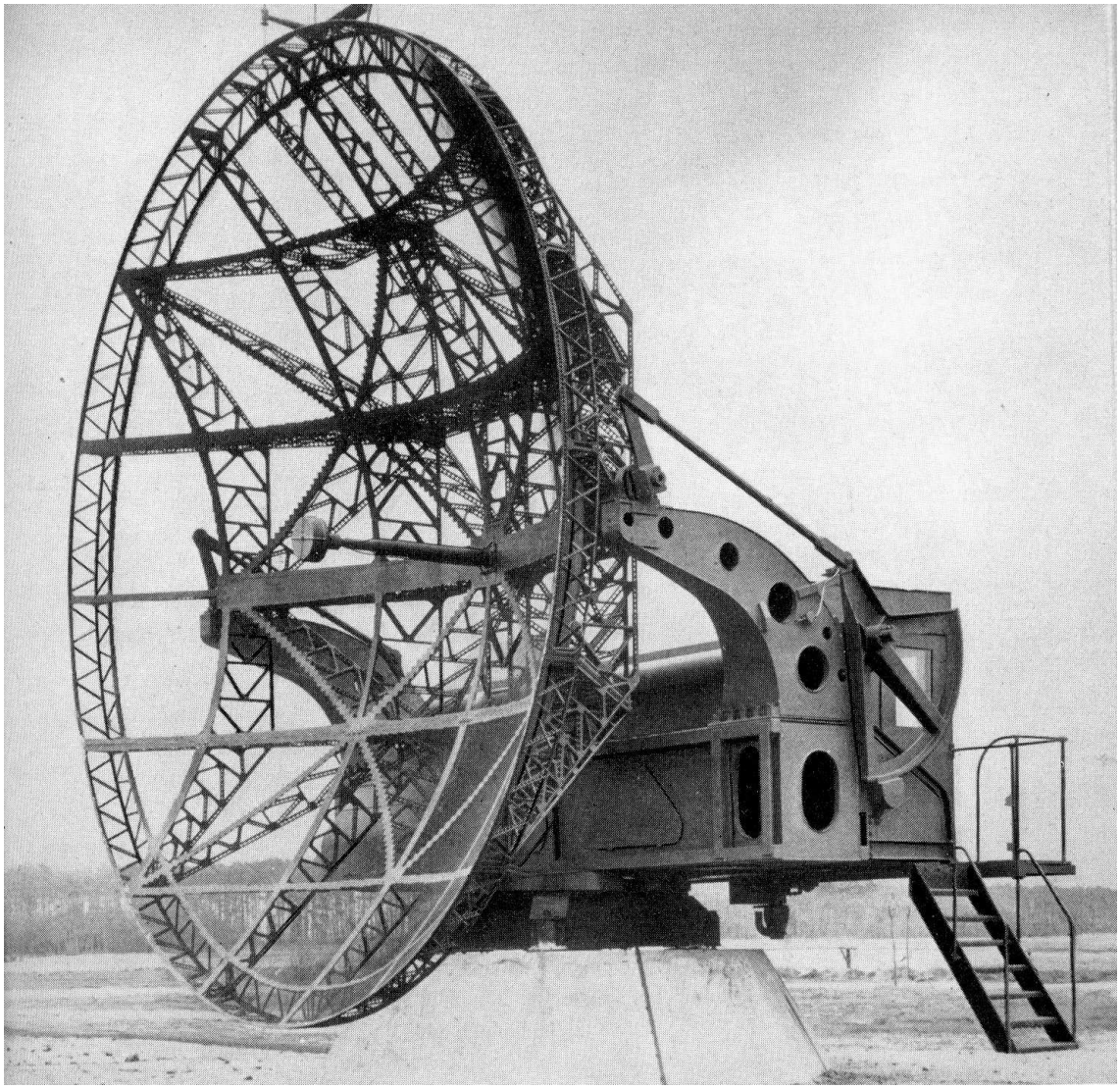


Figure 26.2:
Würzburg Riese, German radar system
used for radioastronomy after 1945

FROM RADAR TECHNOLOGY TO RADIOASTRONOMY

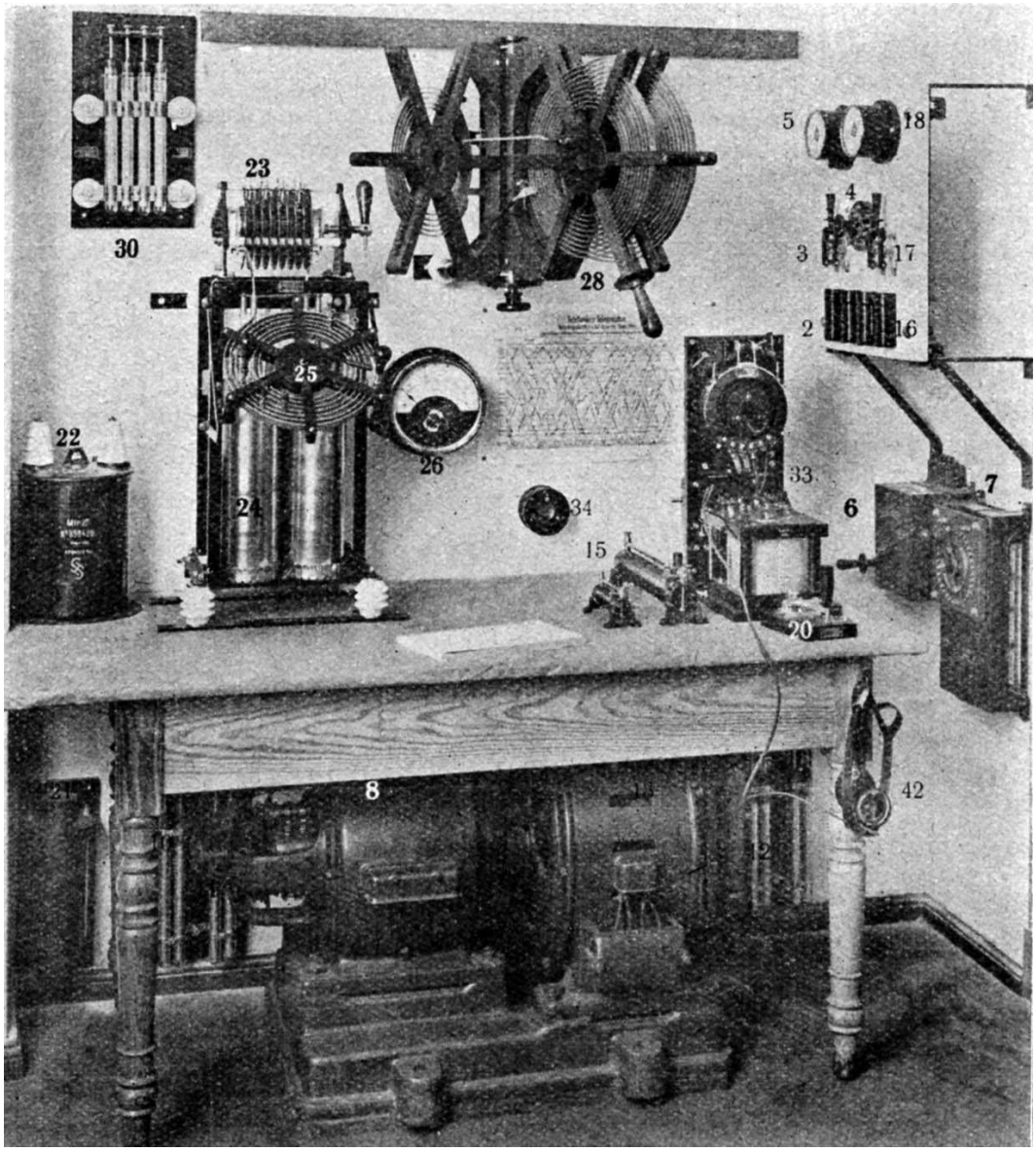


Abbildung 27.1:
Der kleine Sender auf IMPERATOR
mit „Tönenden Löschfunken, System Telefunken“ (1913).

Archiv DSM.

Zur Einführung elektromagnetischer Kommunikations- und Navigations-Verfahren in der deutschen Schifffahrt

Albrecht Sauer (Bremerhaven)

Abstract: About the introduction of electromagnetic communication and navigation technology into German seafaring

The experimental evidence of electromagnetic waves and their use in technology lead to a number of epoch making inventions in navigation, too. Soon world-encompassing maritime radio systems revolutionised communication at sea, particularly providing up-to-date meteorological information, diverse radio navigation methods offered new valuable aids of position finding in poor visibility, and the development of radar remarkably contributed to the prevention of collisions at sea – in a medium-range perspective. The paper outlines the different developments from the beginnings until the First World War, but equally traces in contemporary sources the reception of those inventions among practical seamen and ship owners.

27.1 Einführung

Der experimentelle Nachweis elektromagnetischer Wellen und deren praktische Nutzung zur drahtlosen Kommunikation hat die Zeitgenossen der Wende des 19. zum 20. Jahrhundert und der folgenden Dezennien zweifellos ebenso fasziniert und beschäftigt wie uns die Entwicklung digitaler – prozessorunterstützter – Informations- und Kommunikationstechniken.

Von Beginn an stand dabei für die Entwickler die Übertragung von Informationen über See, insbesondere für die Schifffahrt, im Vordergrund. In dieser Zeit war die Schifffahrt ohnehin als Innovationsträger ersten Ranges stets im Focus: Die Schiffsgrößen, und mit ihnen die Maschinenleistungen, explodierten geradezu: Immer gigantischere Schiffe

fuhren immer schneller über die Weltmeere. So verwundert es nicht, dass auch die technische Umsetzung der Hertzschen Entdeckungen in der Schifffahrtstechnik relativ rasch erfolgte. Allerdings galten Seeleute und Schifffahrtskreise schlechthin Jahrhunderte lang als ein grundsätzlich konservativer Menschenschlag, der Neuerungen gegenüber prinzipiell eher skeptisch gegenüberstand – umso mehr, wenn sie mit anfälligen elektrischen Apparaten in feuchter und salziger Atmosphäre unter veränderlichen Temperaturen und ständigen Vibrationen verbunden waren.

Deshalb stellt sich die Frage, ob dies auch noch für die Innovations- und fortschrittsgewohnte und -orientierte Epoche der vorletzten Jahrhundertwende zutrifft oder hier andere Einschätzungen gewonnen werden können. Ich möchte deshalb zum einen die jeweiligen technischen Entwicklungen in ihren Anfängen bis zum Ersten Weltkrieg skizzieren, und anschließend versuchen, der zeitgenössischen Anwendungspraxis ein wenig nachzuspüren.

27.2 Funk und Kommunikation

Nach verschiedenen Vorversuchen gelang es am 13. Mai 1897 dem jungen Praktiker und guten Geschäftsmann Guglielmo Marconi (1874–1937), von Lavernock Point nach Flatholm am Bristol Channel über ca. 3 nm eine Funkverbindung herzustellen. Der Italiener war nach Großbritannien gekommen, weil er in seinem Heimatland kein Interesse für seine Erfolge vorfand und nun in der in Seefahrtsbelangen weltweit führenden Nation auf mehr Resonanz hoffte – mit Erfolg, insbesondere auch bei der englischen Marine. Die Reichweiten der darauffolgenden Versuche nahmen mehr und mehr zu. Schon bald gelang ihm ein Austausch von Nachrichten mit einem 9 nm entfernten Schiff. Aus diesen Versuchen erwuchs rasch eine kommerzielle Nutzung der Funkwellen: 1897 gründete Marconi die *Wireless Telegraph & Signal Company*, später umbenannt in *Marconi's Wireless Telegraph Company*, und versuchte, weltweit eine Monopolstellung auszubauen. In Alum Bay auf der Isle of Wight wurde im November desselben Jahres die erste Küstenfunkstation errichtet. Ein Jahr später, 1898, installierte Marconi den ersten Funkapparat auf einem Schiff, dem Feuerschiff East Goodwin. Dass im März 1899 die Kollision eines Segelschiffes mit genau diesem Feuerschiff den Wert von Funkverbindungen noch einmal offenkundig machte, indem die Besatzung per Funk Hilfe herbeirufen konnte, nutzte er öffentlichkeitswirksam aus, um die Verbreitung seiner Funkanlagen an Bord voranzutreiben. Die *Royal Navy* erkannte die Vorteile ohnehin längst: 1899 wurden bei den Sommermanövern das Flaggschiff ALEXANDRA und die Kreuzer JUNO und EUROPA zunächst – wegen preislicher Uneinigkeiten – leihweise mit Marconi-Geräten ausgestattet. Das erste fest mit einer Marconi-Anlage ausgestattete Handelsschiff war der Schnelldampfer KAISER WILHELM DER GROSSE des *Norddeutschen Lloyd*, der im März 1900 ausgerüstet wurde.

Bei Marconis Sendeversuchen über den Bristol Channel 1897 war der Berliner Professor Adolf Slaby anwesend, der zusammen mit seinem Assistenten Georg von Arco bereits früher ebenso mit elektromagnetischen Wellen gearbeitet hatte und nun an der Technischen Hochschule Berlin-Charlottenburg mit finanzieller Unterstützung der AEG

(Berlin) die Marconischen Apparate nachbaute. Im Jahr 1898 wurde hierauf ein Patent erteilt und in der Folge begann die Kaiserliche Marine, Slaby-Arco-Geräte in der Praxis einzusetzen. Zeitgleich experimentierte Ferdinand Braun mit seinem Assistenten Jonathan Zenneck in Straßburg – mit Unterstützung der seinerzeit in der deutschen Kabeltelegraphie führenden Firma Siemens & Halske. Seine Entwicklungen führten 1899 bis 1900 zu praktischen Versuchen in der Deutschen Bucht: Er schaffte es, eine Funkverbindungen von der Cuxhavener Kugelbake zum Feuerschiff Elbe I, nach Helgoland und zum Helgoland-Dampfer SILVANA herzustellen, eine Entfernung von immerhin ca. 32 nm.[1] Bereits vorher gründete er zur Vermarktung seiner Anlagen Prof. Brauns Telegraphie GmbH, die 1901 zur Gesellschaft für Telegraphie ohne Draht, System Prof. Braun und Siemens & Halske GmbH wurde.

Ein gutes Jahr später, am 12. Dezember 1901 gelang es Marconi jedoch bereits, mit einer Verbindung von Cornwall nach Neufundland den Atlantik – mithin eine Entfernung von ca. 2100 nm – funkentelegraphisch zu überwinden. Der eindeutige technologische Vorsprung Marconis führte nach teilweise erbitterten Prioritäten-Streitigkeiten der deutschen Entwickler 1903 zur Einigung und organisatorischen Verbindung der verschiedenen deutschen Entwicklungsträger, der Gründung der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie mbH, System Telefunken, die sich systematisch und unter Nutzung aller entscheidenden deutschen Patente der Entwicklung der Funktelegraphie widmete. Dabei bildeten militärische Anwendungen, die weitreichende Nachrichtenübermittlung in die Kolonien und besonders ein leistungsfähiger Seefunk von vornherein die Schwerpunkte der Arbeit.

Die Firma stieß jedoch auf erhebliche Absatz-Schwierigkeiten, da Marconi seine Stationen angewiesen hatte, den Verkehr mit Funkanlagen anderer Systeme zu verweigern. Die beiden großen deutschen Reedereien der Zeit, der *Norddeutsche Lloyd* (NDL) und die *Hamburg-Amerika-Linie* (HAL) hatten sich zum Beispiel bereits langfristig vertraglich an Marconi gebunden, weil sie wegen des Monopolanspruchs der Marconi-Ges. sonst isoliert sei[en], wie es in Hauszeitschrift der HAL vom 20. Aug. 1903 hieß. Das Marconi-Monopol entfachte jedoch nicht nur bei Telefunken sondern auch international Kritik bzw. vehemente Gegenwehr, was – neben anderen Gründen – zu einer internationalen Funkkonferenz, der sog. Vor-Konferenz, im August 1903 in Berlin führte. Eines ihrer wichtigsten Ergebnisse war ein internationaler politischer Konsens, dass künftig alle technischen Systeme miteinander zu kommunizieren hätten: Ein erheblicher Fortschritt für die Bemühungen der deutschen Betreiber.

Infolge der Konferenz schritten sowohl die Ausrüstung vornehmlich der großen Passagierschiffe mit Funkanlagen sowie deren Leistungsfähigkeit rasch voran: Ab 1903 führten zudem die neuentwickelten Lichtbogensender (Patente von Valdemar Poulsen bzw. Carl Lorenz AG) gegenüber den bisherigen Knallfunkensendern zu einer deutlichen Steigerung der Sendeleistung, was ab 1906 noch einmal geschehen sollte, als Telefunken die sog. Löschfunkensender entwickelte: Sie verbesserten sowohl die Sendeleistung und Selektivität drastisch. Der Einzelfunke der Knallfunkensender wurde hier auf eine Reihe kleinerer Funken verteilt, was eine höhere Energieausbeute und höhere Frequenz sowie

[1] 1 Seemeile (sm) oder nautische Meile (nm) = 1852 m.

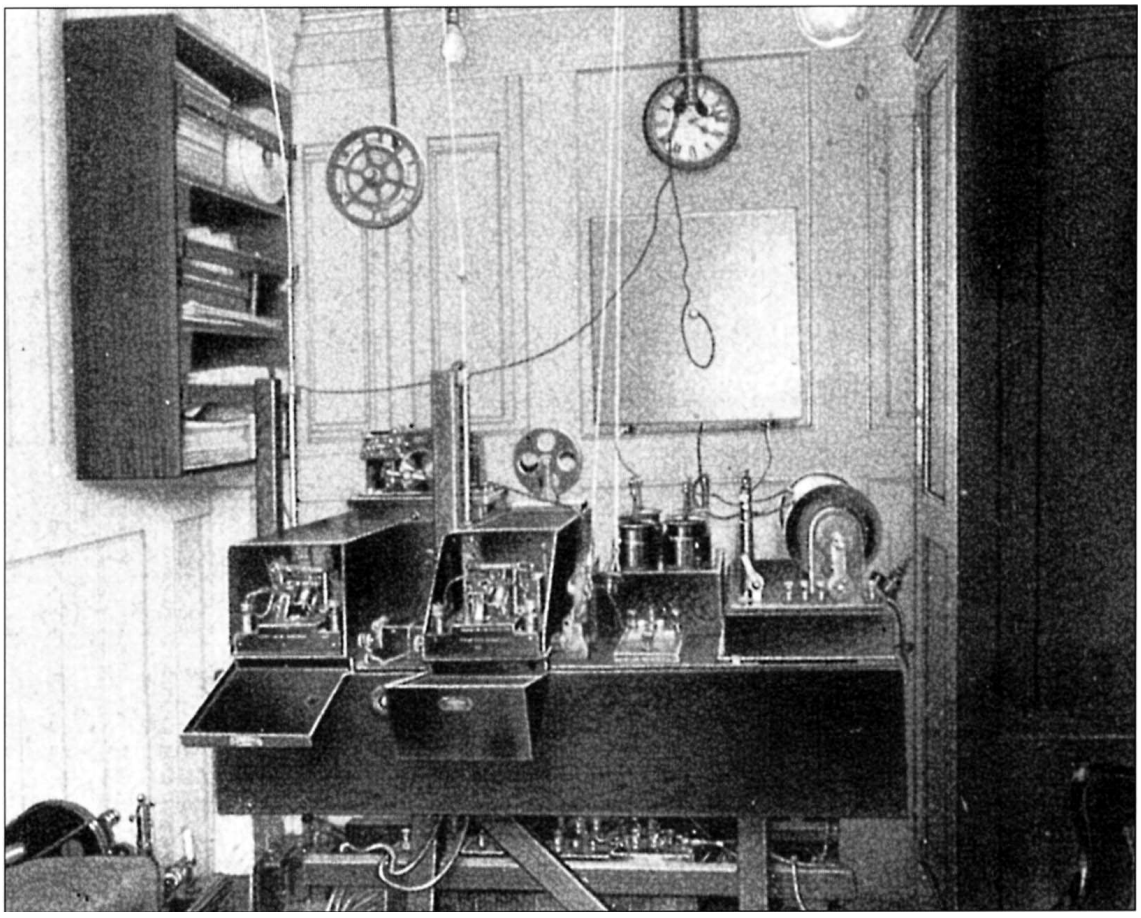


Abbildung 27.2:
Bordfunkstation auf KRONPRINZ WILHELM (NDL) (1903):
Ein Knallfunkensender, System Marconi.

Vierus 1999, 67.

die Erzeugung ungedämpfter Schwingungen ermöglichte. Die Funkenlänge wurde zudem durch Kühlung verkürzt (Prinzip: Max Wien), so dass die von der Antenne rückfließende Energie nicht verlorenging. Durch die schnelle Folge der Einzelfunken entstand im Empfänger zudem ein deutlich hörbarer Ton, der im Gegensatz zu den knackenden und knisternden Signalen der Knallfunkensender leichter von atmosphärischen Störungen zu unterscheiden war: daher auch die Bezeichnung „Tonfunkensender".

1906 begann auch der Aufbau der Großfunkstelle *Norddeich Radio*, die ab 1907 ihren Dienst für die Seeschifffahrt aufnahm. Die Reedereien HAL und *Hamburg Süd* rüsteten ihre Passagierschiffe nun mit Telefunken-Anlagen aus. Die Monopolbemühungen Marconis wurden endgültig gebrochen, als im November 1906 die Internationale Funkkonferenz in Berlin ihre Beschlüsse bekanntgab und grundsätzlich die Richtung der Vorkonferenz zumindest für die 29 beteiligten Ländern bestätigte: Alle in der Funktelegraphie verwendeten Systeme mussten zusammenarbeiten. Erhebliche Umsatzrückgänge der *Marconi's*

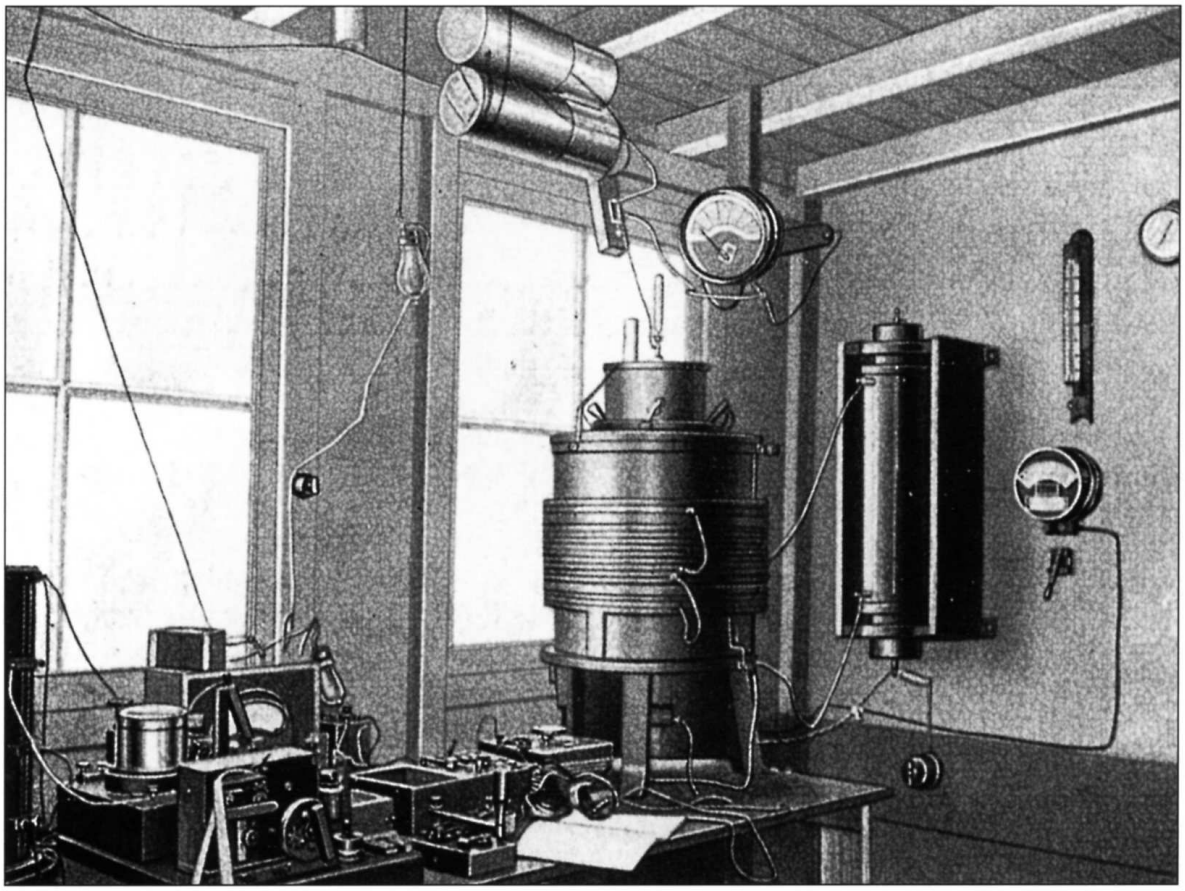


Abbildung 27.3:
Bordfunkstation Telefunken (1907)

Vierus 1999, 62.

Wireless Telegraph Company in den folgenden Jahren ließen schließlich auch ihn einlenken.

Am 14. Januar 1911 wurde mit der *Deutschen Betriebsgesellschaft für drahtlose Telegraphie mbH*, DEBEG, eine system-übergreifende Gesellschaft gegründet, die über alle deutschen Patente verfügen konnte und die Aufgabe hatte, den Seefunk auszubauen und betrieblich umfassend zu betreuen. Ihr erster Geschäftsführer war Hans Bredow (1879–1959). Die DEBEG übernahm bei ihrer Gründung 39 Marconi- und 41 Telefunken-Bordstationen. Schon wenige Monate später konnte sie jedoch bereits 160 und bei Ausbruch des Ersten Weltkrieges, nachdem sie auch noch über die Marconi-Patente verfügen konnte, 479 Handelsschiffe mit DEBEG-Stationen nachweisen. Die DEBEG war dabei ähnlich organisiert wie *Marconi's Wireless Telegraph Company* seit den Anfängen: Sie vermietete als Errichter und Betreiber ihre Stationen mit dem dazugehörigen qualifizierten Bedienungspersonal, den Bordtelegraphisten, die sie auch selbst ausbildete. Und sie sorgte für Einheits-Gerätetypen, was Bedienung, Wartung und Reparatur insbesonde-

Abbildung 27.4:
Funkräume der BREMEN (1911)

Archiv DSM.

re auf See erleichterte. Die DEBEG übernahm darüber hinaus den Abrechnungs- und Verwaltungsbetrieb gegenüber anderen internationalen Seefunkbetreibern. Dass damit freilich wiederum eine – im Deutschen Reich – monopolistische Organisation Herr des Seefunks geworden war, bestätigen vielfältige Klagen der Reeder über die hohen Kosten.

Um einige Vorstellungen über erzielte Reichweiten von Bordstationen der Frühzeit zu geben: 1901 bekam die DEUTSCHLAND (HAL) Slaby-Arco Geräte, die aber 1903 durch eine Marconi-Anlage ersetzt wurden, die 60 nm weit reichte. Auf hoher See wurden 1903 gar 100 nm überwunden, die freilich per Relais – wie es zu dieser Zeit üblich war – zur nächstgelegenen Küstenfunkstelle weitergereicht werden konnten.

Doch schon im Mai 1905 gibt der Telegraphist der CAMPANIA (Cunard Line) an, während der ganzen Reise selbst funktelegraphisch mit Landstationen in Verbindung gestanden zu haben. Und bereits 1912 werden von verschiedenen Telefunken-Bordstationen Reichweiten-Rekorde von ca. 1350–2000 nm aufgestellt.

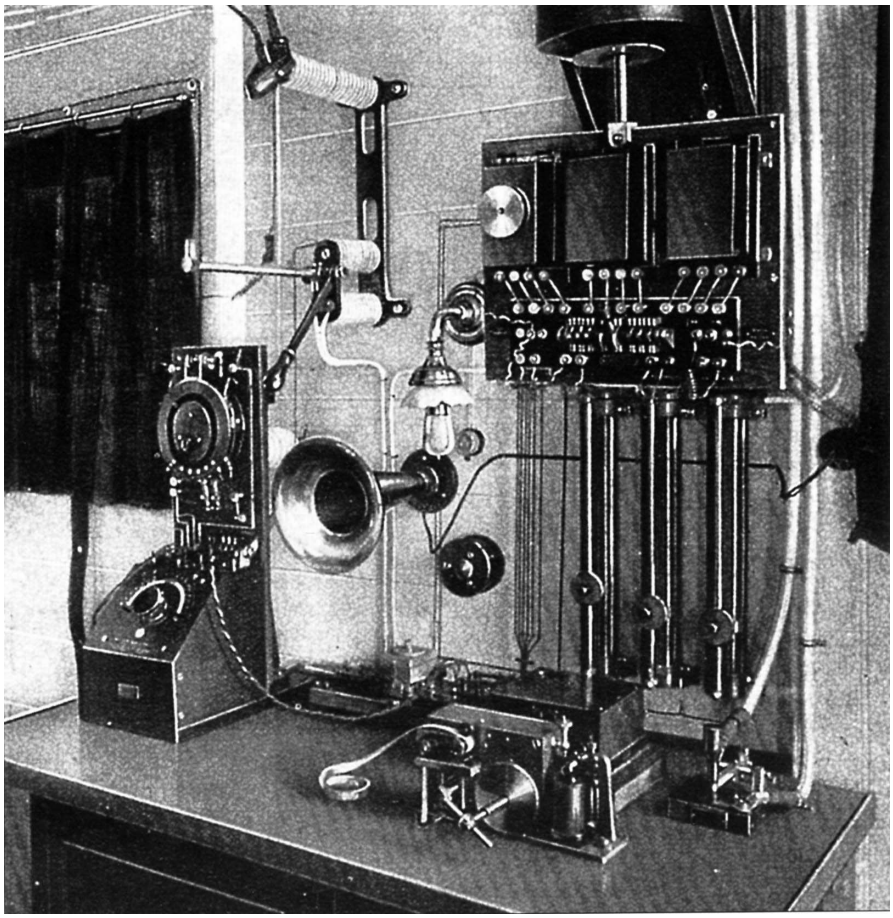


Abbildung 27.5:
Empfänger des Löschfunkensystems auf ELEONORE WOERMANN (1911)

Vierus 1999, 147.

27.3 Funk und Ortung

27.3.1 Funkpeilung

Elektromagnetische Wellen können neben der Kommunikation bekanntlich auch der Ortung dienen. Das Wissen um die gradlinige Ausbreitungsbewegung von Funkwellen (zumindest auf kurze Distanzen) lag schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts vor: Erste Patente für Richtempfänger wurden 1898 in den USA von Reginald Fessenden und in Deutschland 1899 von Ferdinand Braun angemeldet, aber in dieser Zeit waren die verwendeten Empfänger für eine hinreichende Auswertung des Signals noch zu unempfindlich, daher stellten beide die Versuche zunächst einmal ein. 1904 schlug der Amerikaner Lee De Forest vor, an der Küste Peilfunksender mit bestimmten Kennungen aufzustellen, was 1906 zu ersten Versuchen führte. 1907 ließ sich der Italiener Alessandro Artom richtungsabhängige Empfangsantennen patentieren und nahm damit das vorweg, was

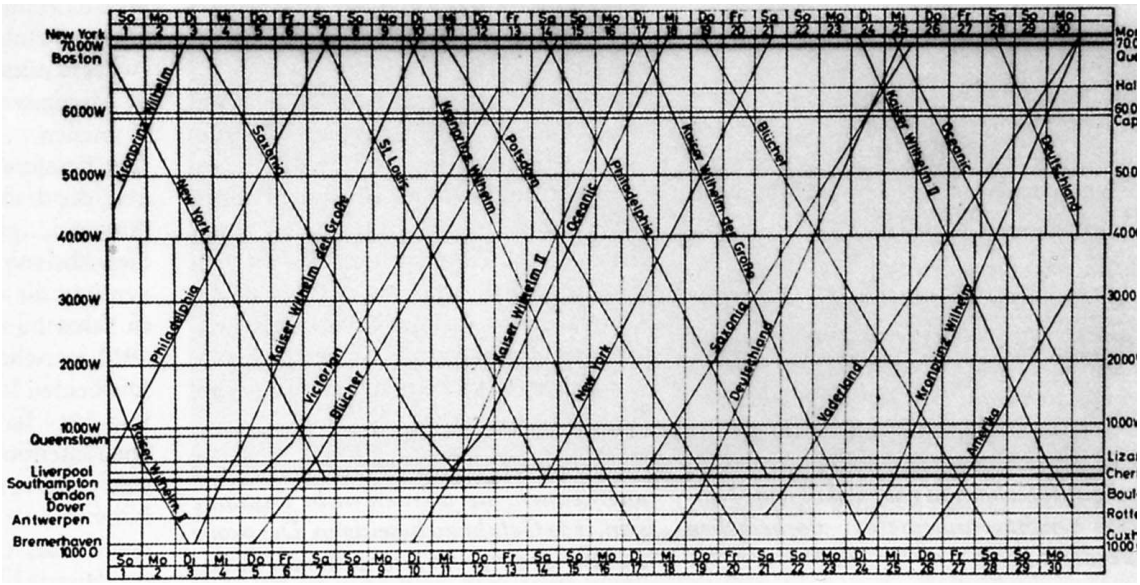


Abbildung 27.6:
Beispiel eines der monatlich von der DEBEG
herausgegebenen Funkverkehrspläne für die Transatlantikfahrt
Archiv DSM.

nahezu gleichzeitig in Frankreich erst untersucht wurde: Hier erforschten die Marineoffiziere Eltone Bellini und Alessandro Tosi 1907/08, ob sich elektromagnetische Wellen eng gebündelt in eine Richtung ausstrahlen ließen (allerdings im Interesse der Abhörsicherheit): Sie fanden wie der Italiener heraus, dass man mit gekreuzten Dreieckantennen die Richtung empfangener Wellen bestimmen kann. Daraus entwickelte sich später das sog. Goniometer.

In Deutschland patentierte 1907 Otto Scheller von der Carl Lorenz AG das allerdings auch erst später verwendete sog. A-N-Verfahren, ein Richtfunkfeuer. Ein Jahr später wurden in Rahnsdorf bei Berlin und mit der funkentelegraphischen Signalstation auf Rügen Versuche mit einem Peilsender durchgeführt, bei dem acht radial um einen Mast gespannte Antennen durch einen Rotorschalter nacheinander auf Sendung geschaltet wurden, so dass ein passierendes Schiff durch Bestimmung des Signalmaximums seine Position relativ zum Funkfeuer bestimmen konnte. 1911 entwickelte Alexander Meissner auf der Grundlage einiger Versuche von Ferdinand Braun mit prismenförmig angeordneten Antennen den sog. „Telefunkenkompaß“, später bezeichnet als Drehfunkfeuer: Hier waren es 32 senkrechte Antennen, die ein umlaufendes „8“-Diagramm der Sendeleistung erzeugten und durch Bestimmung des – schärfer abgegrenzten – Signalminimums eine Peilung vom Schiff zur Sendestation erlaubten. 1913 experimentierte auch Ferdinand Braun erneut mit Richtungsempfängern und führte im folgenden Jahr kreuzförmig angeordnete U-Antennen (als „Rahmen“) ein, daher seitdem die Bezeichnung „Kreuzrahmen-

peiler“. In Frankreich bei Brest wurden bereits auf zwei vorgelagerten Inseln Funkfeuer aufgestellt, die in regelmäßigen Abständen zwei verschiedene Zeichen aussendeten.

Die entsprechenden Peilanlagen nahmen jedoch, was den Typ Bellini/Tosi anbelangte, auf Seeschiffen relativ viel Raum ein, und wurden erst ab 1916 von Marconi, der 1912 die Patente von Artom und Bellini/Tosi erworben hatte, erfolgreich angewendet. Auch in Deutschland begann die Verbreitung von Peilrahmen erst während des Ersten Weltkrieges – nachdem Empfänger mit Röhrenverstärkern zur Verfügung standen, die mit ihrer wesentlich höheren Empfindlichkeit alle bisherige Empfangstechnik in den Schatten stellten.

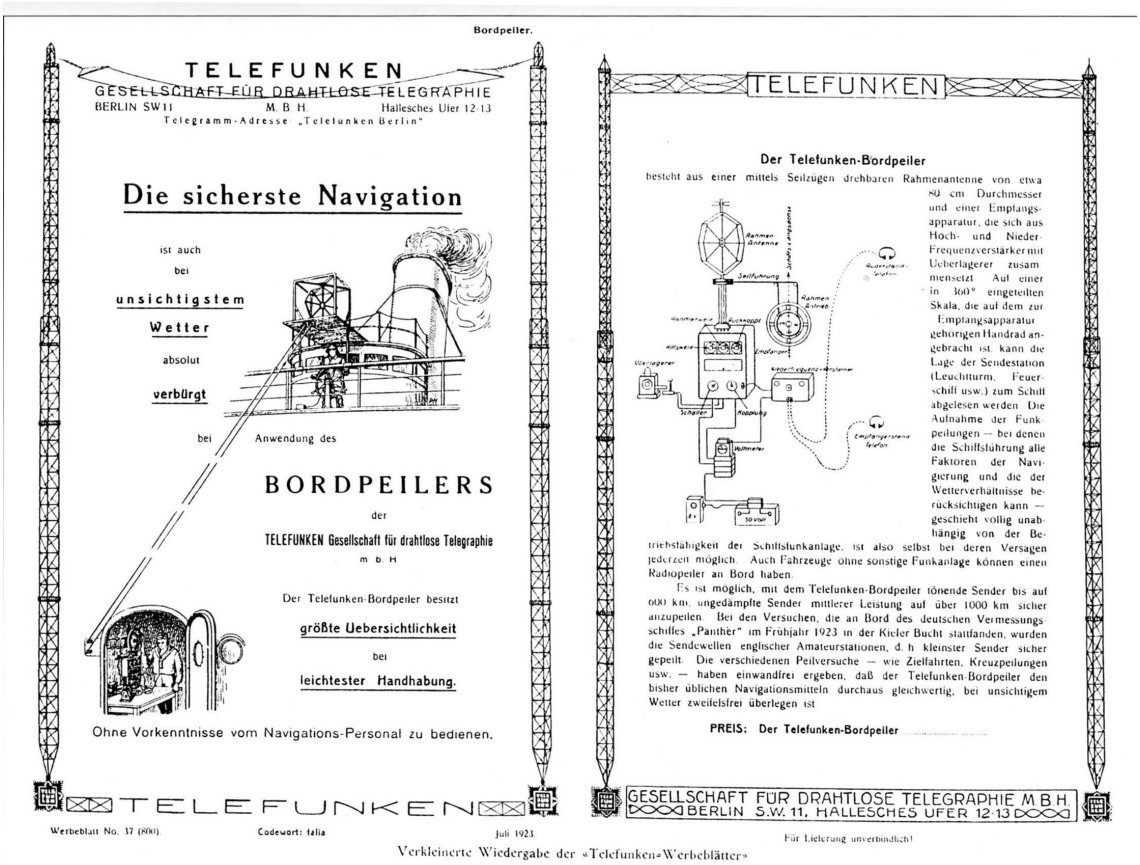


Abbildung 27.7:
Telefunken-Bordpeiler (1923)

Archiv DSM.

27.3.2 Telemobiloskop

Eine andere – und eigentlich zukunftsweisende – Entwicklung der Zeit war das 1904 von Christian Hülsmeyer entwickelte Telemobiloskop, ein Verfahren, um entfernte metallische

Gegenstände mittels electrischer Wellen einem Beobachter zu melden, also ein Vorläufer des Radars.

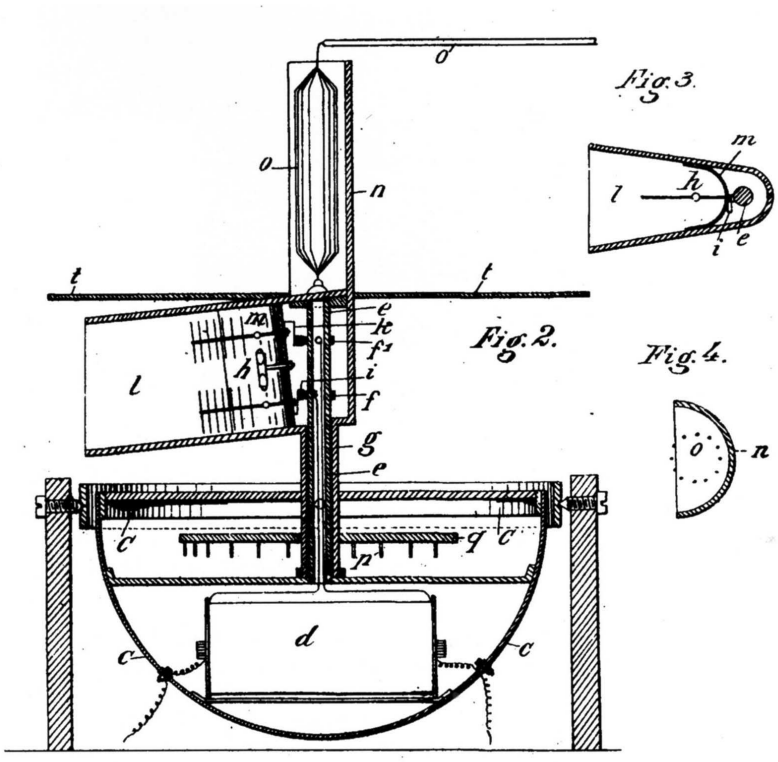


Abbildung 27.8:
Telemobiloskop von Christian Hülsmeyer (1904)
Archiv DSM.

Hülsmeyer nutzte die Reflexion von elektromagnetischen Wellen an metallischen Gegenständen zur Wahrnehmung von Schifffahrtshindernissen bzw. anderen Schiffen bei unsichtigem Wetter. Seine Demonstrationen verliefen erfolgreich, wurden jedoch weder von der Industrie noch von der Marine aufgegriffen. Man argumentierte, dass man Nebelhörner weiter hören könne, als das Telemobiloskop Reichweite habe. Da aber auch Hülsmeyer zum Empfang der breitbandigen Funksignale mangels besserer Empfänger noch Kohärer benutzen musste, wäre seine Apparatur im praktischen Schiffsbetrieb mit Sicherheit zu störanfällig durch fremde Funksignale gewesen. So dauerte es noch knapp eine Generation, bis die ersten verwendungsfähigen Radargeräte entwickelt wurden.

27.4 Funk und Praxis

Es ist also offenkundig, dass elektromagnetische Wellen im untersuchten Zeitraum ihre technische Umsetzung in der Schifffahrt gefunden hatten und dieser Prozess bei weitem

über das Stadium eines Versuchsfeldes hinaus war. Dennoch lohnt sich ein genauerer Blick: 1916 war in der *Zeitschrift für Post und Telegraphie* zum Thema der raschen Verbreitung der Funkentelegraphie an Bord von Frachtschiffen zu lesen: es ist indessen die auffällige Tatsache zu verzeichnen, dass nur zwei Kardinalmotive effektiven Einfluss auf diese Verbreitung nahmen: Einmal – durch eine Serie von großen Seeunfällen unterstützt – die Absicht, die Sicherheit der Seereisenden während der Überseefahrt zu erhöhen, und dann noch das Bestreben, dem Hang des modernen Schiffspassagiers nach möglichster Bequemlichkeit entgegenzukommen. Bei der Förderung der Sicherheit zur See wurde natürlich keineswegs in erste Linie an Zwischendecker oder Bemannungen gedacht, sondern an den Kajütenpassagier. Also vereinigen sich die vorgenannten Kardinalmotive eigentlich zu einem einzigen: Verbesserung des Komforts an Bord. Die vielen, heute schwimmenden Bordstationen sind zum überwiegenden Teile Kinder des Luxusbedürfnisses der Jetztzeit. Und der Autor fährt fort: es kann uns nicht wundern, dass bis heute, also etwa nach 15jährigem Bestehen funkentelegraphischer Einrichtungen für den Seeverkehr, im großen und ganzen doch nur die Passagierdampfer mit Radiostationen versehen sind.

Wirft man ergänzend einen Blick in das im selben Jahr – 1916 – in dritter Auflage erschienene und weitverbreitete nautische Unterrichtswerk von Franz Schulze – Direktor der Navigationsschule in Lübeck –, in den Kurzen Abriß des täglich an Bord von Handelsschiffen angewandten Teils der Schiffahrtskunde, dann bestätigt sich, dass der Funk offenbar in der Nautik der allgemeinen Frachtschifffahrt keine Rolle spielte, denn dem Thema ist nicht ein einziger Satz gewidmet – es ist nicht einmal als Desideratum im Vorwort erwähnt.

Offenbar wurden also die zuvor aufgezählten technisch-innovativen Möglichkeiten nicht adäquat wahrgenommen und genutzt, ein Widerspruch, dem nachzugehen lohnt. Einer der Gründe waren ohne jeden Zweifel die Kosten. Der Hamburger Reeder Adolph Woermann (Woermann Linie) wird mit dem Ausspruch zitiert, Funk sei dazu, dass sich die Kapitäne auf See gegenseitig „Guten Morgen“ wünschen könnten, zu teuer. Auch wenn die *Marconi's Wireless Telegraph Company* und später auch DEBEG ihre Gerätschaften einschließlich des Bedienungspersonals vermieteten, waren die Investitionen für eine Bordfunkanlage immens – angesichts der starken Konkurrenz auf dem Frachtenmarkt mithin wenig attraktiv. Anders verhielt es sich in der Passagierschifffahrt nach Übersee, in der insbesondere durch Werbung mit vorhandener Funktelegraphie an Bord der hohen Standard eines Schiffes herausgestellt werden konnte.

Ein weiteres Problem lag in der technischen Unzuverlässigkeit der Anlagen insbesondere hinsichtlich der besonderen Bedingungen und Anforderungen an die Betriebssicherheit auf einem Schiff. Die 1902 als Sensation gefeierte (wenn auch mitunter bezweifelte) Nachricht, dass Marconi mit seinen Landstationen den Atlantik funktelegraphisch überwunden hatte, lässt leicht vergessen, dass ihm dies erst nach vielen Tagen beim siebzigsten Versuch gelungen war. An Bord, bei Luftfeuchtigkeit und salzhaltiger Atmosphäre, bei unterschiedlichen Temperaturen und ständigen Vibrationen galten erschwerte Bedingungen. Auch die atmosphärischen Störungen und, damit verbunden, die meist übertriebenen Versprechungen der Hersteller hinsichtlich der erzielbaren Reichweiten sorgten für Verdruss. Auf der Fahrt einer russischen Flotte nach Ostasien im Russisch-Japanischen

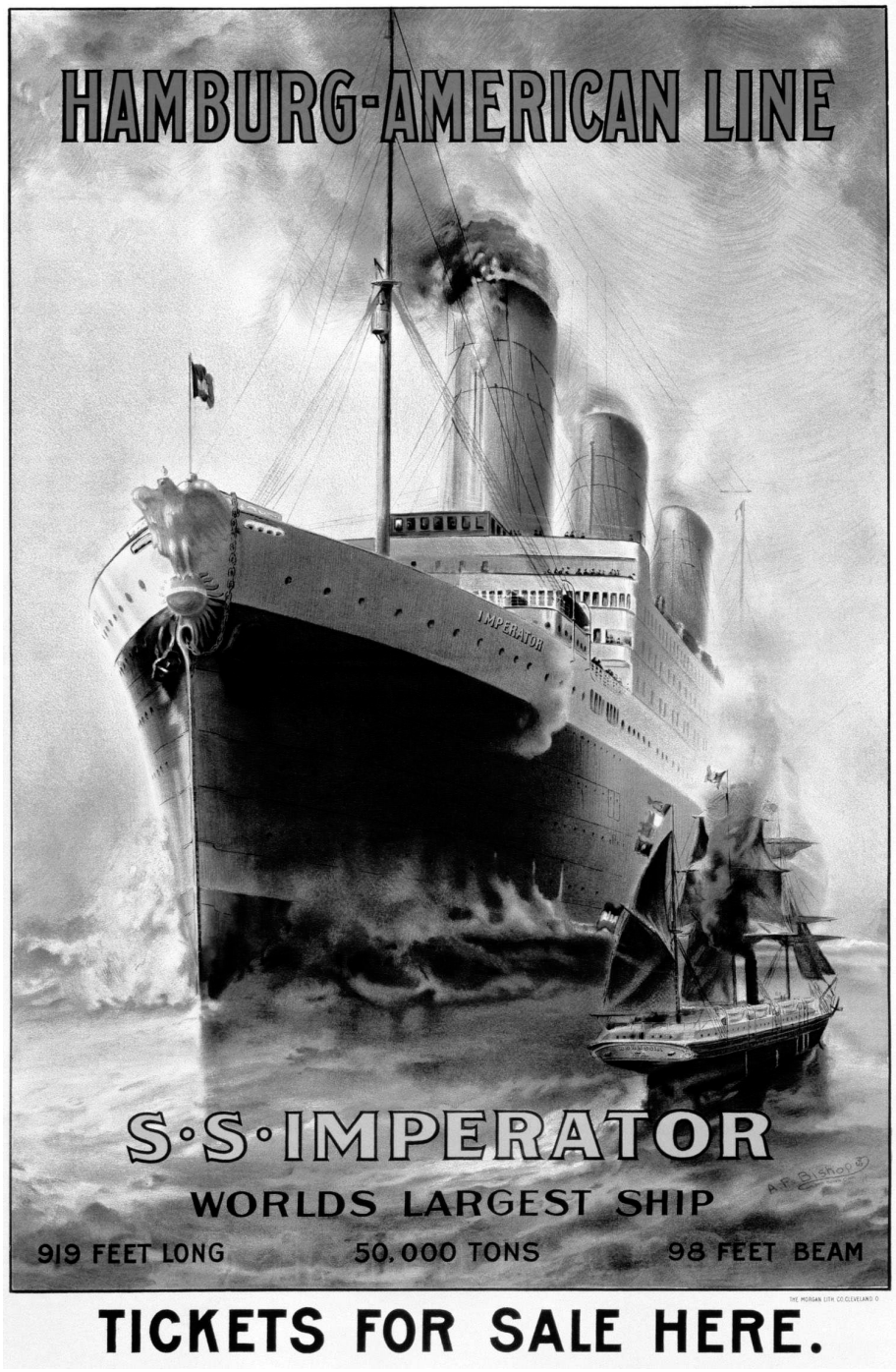


Abbildung 27.9:
Werbeplakat für IMPERATOR:
Deutlich zu sehen sind die Antennenanlagen

Archiv DSM.

Krieg 1904, schickte die Schiffsführung die Bordtelegraphisten der Slaby-Arco-Geräte bereits in einem afrikanischen Hafen unter Hohn und Spott der nautischen Offiziere nach Hause, weil die Anlagen, sofern sie überhaupt ihren Dienst taten, die versprochenen Reichweiten nicht erreichten.

Man wusste in dieser Zeit auch noch zu wenig über die Ausbreitungsbedingungen von elektromagnetischen Wellen im Fernfeld und ihrer Abhängigkeit von Wellenlänge bzw. Frequenz. Die Anfänge der Funktelegraphie fielen mit einem Minimum im elfjährigen Zyklus der Sonnenflecken im Jahr 1900 zusammen, der für eben diese Ausbreitungsbedingungen von erheblichem Einfluss ist. In dieser Zeit waren damit zwar die atmosphärischen Störungen vermindert, aber auch die Reflexion kürzerer Wellen an den entsprechenden Schichten der Ionosphäre nahezu beseitigt. Es ist bezeichnend, dass man die späterhin sog. Kurzwelle (zwischen 3 und 30 MHz) anfänglich für den Seefunk ausschloss und sie den privaten Tüftlern, den Amateuren, überließ. Sie waren es denn auch, die den Wissenschaftlern und professionellen Technikern erst zeigten, dass hier mit geringer Sendeenergie Verbindungen rund um den Erdball herstellen werden können.

Doch technische Probleme gab es viele. Allein ein so grundsätzliches Problem wie eine hochspannungsfeste und auch bei Feuchtigkeit verlässliche elektrische Isolation der Bauteile und Zuleitungen beschäftigte Forscher wie Labore zur Genüge. Aber auch die Selektivität bzw. Bandbreite von Sendern und Empfängern ließ bei den frühen Modellen zu wünschen übrig. Deshalb kam es häufig durch Interferenz mit anderen Sendern zu Störungen und unleserlichen Signalen. Die vielen Verlautbarungen und Werbeunterlagen der Anbieter von funktelegraphischen Apparaten freilich betonten die „absolute Zuverlässigkeit“ und „Fehlerfreiheit“ der Anlagen derart, dass der kritische Leser – heute – eher auf das Gegenteil schließen muss.

Ein weiterer Grund der verzögerten Verwendung der Funktechnik lag im Schiffsbetrieb selbst: Wozu sollte und konnte ein Nautiker dieser Zeit Funktelegraphie verwenden?

Was für die Einrichtung einer Anlage sprach und was auch allgemein als deren wichtigster Beweggrund angesehen wurde, war die Möglichkeit des funktelegraphischen Notrufs. Hier gab es außer ökonomischen kaum Einwendungen. Neben anderen war es vor allem der Untergang der REPUBLIC, des Flaggschiffs der White Star Line, am 23. Januar 1909 50 nm vor Kap Hatteras nach einer Kollision mit der FLORIDA im dichten Nebel, der Aufsehen erregte und überzeugte: Per Funk konnte die REPUBLIC insgesamt sieben Schiffe alarmieren und zu sich leiten, so dass über 1500 Menschen gerettet wurden. Ohne Marconi-Anlage hätte es vermutlich keinen einzigen Überlebenden gegeben, denn die FLORIDA verschwand nach der Kollision im Nebel und kehrte erst spät wieder an den Ort des Geschehens zurück. Die USA zogen sogleich mit einem Gesetzesvorschlag die Konsequenz aus diesem Unfall und erließen 1910 Ausrüstungsvorschriften, nach denen alle einen amerikanischen Hafen anlaufenden Schiffe mit über 50 Personen an Bord Funkanlagen führen mussten. Verstöße wurden wiederholt hart bestraft. In Großbritannien zögerte man noch gleichzuziehen: Während dort 1913 die National Sailors' and Firemen's Union laut überlegten, ob sie ihren Mitgliedern nicht raten sollten, den Dienst auf Fahrzeugen ohne Funkanlagen zu verweigern, schuf die Seeberufsgenossenschaft im Deutschen Reich am 1. Oktober desselben Jahres insofern Tatsachen, als sie in die Unfallverhütungsvorschriften die Ausrüstungspflicht mit Funkanlagen mit einer Min-

destreichweite von 100 nm für Passagierdampfer mit mindestens 75 Personen an Bord aufnahm.

Hier soll nicht auf die lang anhaltende Debatte über CQD oder SOS als allgemeingültiges Notsignal eingegangen werden. Wichtig war in den seinerzeitigen Diskussionen die Möglichkeit eines Funknotverkehrs. Allerdings wurden dessen Leistungen auch zuweilen überschätzt, denn auch ein per Funk abgegebener Notruf führt nicht zwangsläufig zur Auffindbarkeit des Havaristen, wie sich leider immer wieder – auch in der jüngeren Vergangenheit vor Einführung von GPS – zeigt. Zu oft sind die angegebenen Positionen nicht hinreichend präzise.

Ein weiterer betrieblicher Grund, der ebenfalls für Funkanlagen sprach, aber wiederum in der Passagierschifffahrt besonders schwer wog, war die Zeitersparnis bei der Befrachtung und Entladung, der Verproviantierung und Bebunkerung der Schiffe, die nun bereits im Vorfeld der Ankunft organisiert werden konnten – wenn dies denn für das jeweilige Schiff die hohen Kosten der Anlage rechtfertigte. Bei Kriegsausbruch 1914 trat übrigens hinzu, dass manches nicht mit Funk ausgerüstete Schiff eben deshalb aufgebracht wurde, weil es mangels besserer Informationen nicht rechtzeitig einen Hafen in neutralem Gebiet aufgesucht hatte.

Ein weiterer Grund der zögerlichen Einführung des Funks waren auch die noch kaum hinreichenden zur Verfügung stehenden nautischen Dienste. Zwar lieferte *Norddeich Radio* bereits bei den ersten Reichweitenversuchen mit dem Dampfer VINETA im Jahr 1907 Zeitsignale zur Kontrolle der für die astronomische Navigation wichtigen Bordchronometer, aber ein regelmäßiger Zeit-Dienst wurde erst ab Februar 1910 angeboten. Auch der Wetterbericht stand noch in den Kinderschuhen. 1909 gab es immerhin einen ersten gemeinsamen Versuch des britischen Meteorological Office und der Deutschen Seewarte zur Einrichtung eines koordinierten ozeanischen Wetterdienstes, bei dem die beteiligten Schiffe ihre Wetterbeobachtungen per Funk übermitteln sollten. Der Versuch scheiterte jedoch und führte zu der für uns naheliegenden Erkenntnis, dass die individuellen Wetterobservationen nur von Wert sind, wenn sie zu einer festgelegten gemeinsamen Referenzzeit aufgenommen und zeitnah an die Landstationen übermittelt werden. Man beschränkte sich daher zunächst auf regionale Wetterberichte: So brachte *Norddeich Radio* ab 1910 lediglich Sturmwarnungen der Deutschen Seewarte für das Seegebiet Nordsee.

Erstaunlicherweise erfolgte auch eine Aussendung von allgemeinen nautischen Warnnachrichten (verlöschte Feuer, vertriebene Tonnen, Schifffahrtshindernisse u. ä.) erst relativ spät. Sie begann 1911 mit der behördlichen Erlaubnis, dass Feuerschiffe mit Funktelegraphie ihre entsprechenden Informationen aussenden durften. Eigentlich hätte man hierfür leicht auf die seit über einer Generation verbreiteten gedruckten Hydrographischen Nachrichten zurückgreifen können, aber ein funktionsfähiges Netz zur Koordination aktueller Meldungen stand augenscheinlich noch nicht zur Verfügung.

27.4.1 Peilfunk

Auch der Peilfunk, d. h. die Auswertung von Peilungen von Funkfeuern an den Küsten und auf Feuerschiffen blieb vor dem Ersten Weltkrieg mehr oder weniger im Versuchs-

stadium. Mit den an Bord vorhandenen relativ kleinen Antennen waren leistungsstarke Empfänger nötig, die erst mit der Einführung der Elektronenröhre möglich wurden. Zudem lagen noch keine Kenntnisse über die Ablenkung der Funkwellen an den Schiffsaufbauten sowie über Küsten- und Dämmerungseffekte vor, die eine präzise Funkbeschickung ermöglicht hätten. Es ist bezeichnend für den Stand der Entwicklung, dass es im Mai 1916 noch möglich war, dass das Flaggschiff der deutschen Flotte (FRIEDRICH DER GROSSE) mit der Marinestation Wilhelmshaven nur das Rufzeichen tauschen musste, um die Royal Navy irre zu führen, und man infolgedessen tatsächlich in Großbritannien glaubte, die deutsche Flotte läge noch im Hafen, während sie längst ins Seegebiet der berühmt gewordenen Skagerrakschlacht dampfte. Immerhin bewährten sich aber die Peilrahmen bei der Suche auf kurze Distanz: nach havarierten Schiffen oder zur Peilung nahestehender Peilfunksender – so zum Beispiel belegt bei der Ansteuerung von New York bei Nebel.

Wenn die Funktelegraphie vor dem Ersten Weltkrieg an Bord navigatorisch genutzt wurde, dann geschah dies selbst auf den größten und umfänglichst ausgerüsteten Überseedampfern auf eine uns bemerkenswert schlicht anmutende Weise. Typisch ist z. B. die Schilderung der Einfahrt in den Ärmelkanal durch den Kapitän des Lloyd-Schnelldampfers KAISER WILHELM DER GROSSE – seinerzeit größtes Schiff der Welt und Trägerin des Blauen Bandes – aus dem Jahr 1902:

> *„Als wir auf unserer letzten Heimreise in die Nähe der Scillys kamen, wurde es neblig, so dass wir einen etwas mehr abführenden Kurs steuern mussten. Nachdem wir nach unserer Schätzung die Scillys passiert hattten, meldete mir der Telegraphist, dass er Verbindung mit der Marconi-Station auf Lizard habe. Wir befanden uns zur Zeit etwa 70 Meilen von Lizard entfernt. Als wir uns nach unserer Schätzung etwa 15 Meilen von Lizard entfernt befanden, wurde es nebliger. Ich ließ durch den Telegraphisten in Lizard anfragen, ob Lizard Nebelsignale gäbe. Es erfolgte die Antwort: nein. Wir fuhren nun langsam, und nach kurzer Zeit fragte ich bei Lizard an, ob man daselbst unsere Dampfpfeife vernehmen könne, was verneint wurde. Ich konnte daher annehmen, es war Windstille, dass wir uns 6–7 Meilen von Lizard entfernt befinden mussten. Ich ersuchte daraufhin Lizard, sobald sie unsere Dampfpfeife vernehmen würden, uns Meldung zu machen. Nach einigen Minuten teilte uns Lizard mit, dass man nun Nebelsignale geben würde; 5 Minuten darauf hörten wir das Nebelsignal von Lizard, anscheinend in einer Entfernung von 8–10 Meilen. Wir veränderten den Kurs, bis wir das Signal von Lizard nicht mehr hören konnten.*

Ein erhebliches Hindernis für die Einführung bzw. genauer zu einer den gegebenen Möglichkeiten entsprechenden Nutzung der Funktelegraphie ging im Schiffsbetrieb nicht zuletzt von der schwierigen Einordnung der Bordtelegraphisten innerhalb der Bordhierarchie aus. Wie geschildert, handelte es sich in der Regel gleichsam um Leihpersonal, aber im Offiziersrang, das wegen der den Nautikern fehlenden Sachkompetenz von den Geräteherstellern gestellt wurde und nur diesen gegenüber verantwortlich war. Diese Personengruppe – zu Zeiten der DEBEG teilweise auch freigestellte Beamte des Reichspost-

ministeriums – genoss bei Passagieren und in der allgemeinen Öffentlichkeit höchste Bewunderung. Diese Herren über seinerzeit geradezu mythische High-Tech-Anlagen mit ihrem Informationsmonopol waren allerdings – deswegen und späterhin wegen ihrer funknavigatorischen Kompetenzansprüche – bei den nautischen Offizieren, insbesondere den Kapitänen, nicht sonderlich beliebt, sondern wurden im Gegenteil eher misstrauisch beäugt. Es brauchte eine Weile, bis auch von Gesetzesseite eindeutig bestimmt wurde, dass der Bordtelegraph dem Kapitän untersteht und diesem auch unter das Telegraphengeheimnis fallende Nachrichten zugänglich zu sein haben. Es gab wiederholt Havarien, bei denen die ungeklärte Stellung des bzw. der Bordtelegraphisten sich fatal für die Schiffssicherheit auswirkte. Die bekannteste ist zweifellos der Untergang der TITANIC im April 1912. Hier legte der Funker das entscheidende Telegramm von der AMERICA, das über die Position zweier Eisberge auf der Kurslinie der TITANIC informierte, nicht dem Kapitän vor, weil es nicht direkt an die TITANIC gerichtet war und der Funker es so unter das Telegraphengeheimnis subsumierte.

Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass die Nutzung elektromagnetischer Wellen in der Seeschifffahrt ab der Jahrhundertwende vom 19. zum 20. Jahrhundert zweifellos hinsichtlich der technischen Möglichkeiten realisiert war. Die Realität der allgemeinen Praxis allerdings stand weit dahinter zurück. Dies war freilich nicht nur dadurch bedingt, dass die Anlagen hohe Investitionen erforderten oder in Schifffahrtskreisen jedweder neumodscher Kram abgelehnt wurde – das gab es auch, und nicht selten –, sondern eher dadurch, dass sich neben den technischen noch nicht die allgemeinen Systemvoraussetzungen und Rahmenbedingungen entwickelt hatten. Sie jedoch waren notwendige Voraussetzung, damit ein leistungsfähiges Gesamtsystem großer Verbreitung entstehen konnte, wie es der Seefunk in späterer Zeit wurde. Freilich: Ohne Verbreitung kein Gesamtsystem, ohne elaboriertes Gesamtsystem keine Verbreitung. Ausrüstungsvorschriften, also staatlicher bzw. politischer Zwang, lieferten für die Passagierschifffahrt in der behandelten Zeit entscheidende Impulse – in der Frachtschifffahrt war es das Gesamtsystem, das letztlich und langfristig entschied.

27.5 Literatur

Die Fortschritte der Funkentelegraphie und ihre Bedeutung für den Verkehr. In: *Nauticus* **4** (1904), S. 412–435.

Die Fortschritte der Funkentelegraphie, ihre wirtschaftliche und militärische Bedeutung. In: *Nauticus* **8** (1906), S. 477–496.

Drahtlose Telegraphie und Telephonie. In: *Nauticus* **10** (1908), S. 439–457.

Die gesetzliche Regelung der drahtlosen Telegraphie. In: *Jahrbuch Norddeutscher Lloyd* (1909), S. 14–34.

Arco, Georg von [?]: Der heutige Stand der drahtlosen Telegraphie. In: *Jahrbuch Norddeutscher Lloyd* (1909/10), S. 173–189.

Arco, Georg von [?]: Der heutige Stand der drahtlosen Telegraphie. In: *Jahrbuch Norddeutscher Lloyd* (1910/11), S. 115–123.

Arco, Georg von: Der heutige Stand der drahtlosen Telegraphie. In: *Jahrbuch Norddeutscher Lloyd* (1911/12), S. 170–194.

Bredow, Hans: Drahtlose Telegraphie mit besonderer Berücksichtigung von Schiffsinstallationen. In: *Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellschaft* **13** (1912), S. 105–172.

Anweisung für den Funkentelegraphendienst. Berlin 1913.

Winkler, A.: Die Funkentelegraphie an Bord von Frachtschiffen. In: *Zeitschrift für Post und Telegraphie* **XXIII** (1916), S. 18–20.

Grötsch, Rudolf: Der Funkdienst an Bord eines Handelsschiffes. In: *Meereskunde* **XIV** (1920), S. 8.

Bolte, Friedrich und Heinrich Meldau: *Physik für Seefahrer unter besonderer Berücksichtigung der Funkentelegraphie.* Braunschweig 1925.

Berger, Martin: Hundert Jahre technische Navigation. In: *100 Jahre Schiffahrt, Schiffbau, Häfen.* Hrsg. v. Paul Schroedter u. Martin Berger. Hamburg 1964, S. 191–201.

Freiesleben, Hans-Christian: *Die Geschichte der Navigation.* Wiesbaden (2. Auflage) 1978.

Höher, Hans: Die technische, betriebliche und personelle Entwicklung der deutschen Funktelegrafie. In: *Archiv für deutsche Postgeschichte* (1990), Heft 2, S. 49–68.

Lehmann, Hans: Berufsfunker im Seefunkdienst. Die Entwicklung bis zum Ersten Weltkrieg. In: *Jahrbuch der Männer vom Morgenstern* **71** (1992), S. 165–199.

Telefunken Sendertechnik GmbH: 90 Jahre Telefunken. Berlin 1993.

Goodwin, W. D.: *One hundred years of maritime radio.* Glasgow 1995.

Teuteberg, Hans-Jürgen und Cornelius Neutsch (Hrsg.): Vom Flügeltelegraphen zum Internet. Geschichte der modernen Telekommunikation. In: *Vierteljahrschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte* (1998), Beiheft 147.

Fuchs, Margot: Anfänge der drahtlosen Telegraphie im Deutschen Reich 1897–1918. In: Teuteberg/Neutsch (1998), S. 113–131.

Vierus, Dieter: *CQD SOS Mayday. Vom Knallfunkensender zum Satellitenfunk. 100 Jahre Geschichte des Seefunks.* Hamburg: Dt. Segler Verlg (DSV) 1999.

Friedewald, Michael: Telefunken und der deutsche Schiffsfunk 1903–1914. In: *Zeitschrift für Unternehmensgeschichte* **46/1** (2001), S. 27–57.

Fuchs, Margot: *Georg von Arco (1869–1940). Ingenieur, Pazifist, Technischer Direktor von Telefunken. Eine Erfinderbiographie.* Berlin, Diepholz: Verlag für Geschichte der Naturwissenschaften und der Technik 2004.

Thiele, Erdmann (Hrsg.): *Telefunken nach 100 Jahren: Das Erbe einer deutschen Weltmarke.* Berlin: Nicolai (2. Auflage) 2003.

Bauer, Arthur O.: *Christian Hülsmeyer and about the early days of radar inventions. A survey.* Ms. Diemen 2004.

Ulsamer, Gregor: *Feuerschiff Borkum Riff. Die interessante Geschichte des Nachrichtenwesens an der Küste.* Emden (5. Auflage) 2004.

Hechtel, Detlef: *Das Ende der Einsamkeit. Zur Geschichte der Kommunikation auf See.* Hamburg: Convent-Verlag (Schriften des Deutschen Schiffahrtsmuseums; 65) 2005.

Figure 28.1:
Ir A. H. de Voogt (right) and Prof. J. H. Oort,
from the film by Kleibrink (1957),
reenacting their walk along the North Sea dunes.

Ir A. H. de Voogt's Pioneering Role as Radio Amateur and Astronomer

Richard Strom (Amsterdam, The Netherlands)

Abstract: Ir A. H. de Voogt: seine Rolle als Radioamateur und Astronom

By the age of 16, Anthonet Hugo de Voogt had developed a passion for amateur radio, which had probably been encouraged by his father. But whatever the spark, the flame of amateur radio burnt brightly for the young De Voogt. He undoubtedly knew of Hertz's achievements, but as the latter died when De Voogt was not yet 2, he would not have been an immediate figure for the young man. Amateur radio before 1910 was not for the faint hearted, but it quickly caught on (despite being illegal), and De Voogt was in the vanguard of the movement. Having obtained his electrical engineering degree (from Delft, 1916), De Voogt joined the Dutch PTT as an engineer, and moved steadily through the ranks to become head of the telephone district for Breda in 1939. A few weeks after the war in Europe ended, he was promoted to head the PTT's Radio Service. From this position in the upper echelons of the Post Office hierarchy, De Voogt's earlier passion seems to have been rekindled, and he launched a number of initiatives to pursue radio astronomical research. The logic behind his action was that solar activity affects the ionosphere, which in its turn influences long distance radio communication. It was De Voogt who apprised Jan Oort of the possible use of an abandoned Würzburg Riese radar antenna in his search for the 21 cm H I line; it was also he who enabled Oort's nascent research group to borrow one from the PTT station in Kootwijk. One sees De Voogt's experience with early radio coming through in his initiative to protect the 21 cm hydrogen band from interference. In the end, the hydrogen observations proved far more significant than the solar work, and De Voogt's role can be seen as mainly a facilitator of research. Ironically, it was not the solar research, with its potential application to improve radio communication, which proved successful, but rather the hydrogen work which was relevant only to pure science. One is reminded that Hertz's assessment of his own experiments is that they were "of no use whatsoever" – how difficult is it to outguess Dame Fortune!

28.1 Introduction

In a scene from a short film about the construction of the Dwingeloo 25 m telescope (Kleibrink, 1957), two gentlemen are seen walking along the North Sea strand. Clearly not dressed for a day at the beach (Fig. 28.1), the figure simply identified as *engineer De Voogt* suggests to his companion (Prof. Oort) the use of a wartime German radar antenna to search for the 21 cm neutral hydrogen line. Writing many years later, Christiaan Alexander Muller (1969) noted:

> *The war was quickly followed by pioneering work by the group of engineer de Voogd* [sic] *of the P.T.T. ... This was in a certain sense the cradle of the work of the Netherlands Foundation for Radio Astronomy which was set up around 1948.*[1]

Though the name De Voogt has rather faded from radio astronomy annals, Muller (as well as Oort) was certainly conscious of the crucial role he played. Yet neither may have been aware of De Voogt's pioneering efforts in amateur radio during the first quarter of the twentieth century.[2]

This is an attempt to rekindle interest in A.H. de Voogt and his accomplishments as both radio amateur and radio astronomer. From a variety of archival sources, newspapers and professional publications it has been possible to piece together an outline of De Voogt's life, family, career and scientific accomplishments. Recent descriptions of some of De Voogt's work can be found in Strom (2005) and Woerden/Strom (2006). A short biography, based on a talk given at the IAU General Assembly (Prague, 2006), has recently been published (Strom, 2007).

28.2 Family background and childhood

Anthonet Hugo de Voogt was born on 1 May 1892 in Amsterdam, the third of five children. His father Gosewinus (1863–1918), who also hailed from the capital, was (according to an entry in the municipal archives, 1887) an engineer by profession. The father's own childhood had its share of tragedy and uncertainty: his mother died when he was one, and his father Willem Jacob only remarried six years later. (Anthonet Hugo was almost certainly named after Gosewinus' mother, Anthonetta, and stepmother, Hugoline.) The second marriage gave Gosewinus a half-brother and sister. The sudden death of Willem Jacob in 1875 was to split up the family. Hugoline returned to Zaltbommel, her birthplace, with the two young children, while twelve-year Gosewinus moved in with Rev. Hendricus Petrus Berlage and his wife Rebecca Wilhelmina (nee Muntendam; since mother Anthonetta was also a Muntendam, it is possible they were related); perhaps

[1] Translated from Dutch. Citations which have been translated are italicized; otherwise quotation marks are used. For more about the surname "de Voogt" see footnote 60.

[2] Muller, as a radio amateur himself (PA0CAM), may have known, though other former colleagues of the same generation had never heard of it.

this was so as not to disrupt his schooling. In 1881 Gosewinus moved to Haarlem, presumably where he received his engineering training, returning to Amsterdam at the time of his marriage in 1887.

Anthonet Hugo's mother Elisabeth Nelma Cornelia Adreana (nee Doorman) was born near Lobith in 1862. Although her father had worked for the railway and later became a civil servant, the Doorman family provided generations of high-ranking officers to the Dutch military, stretching back to her grandfather, Major General Johannes Diderikus Doorman (1770–1827), five of whose sons also became army officers (De Josselin de Jong, 1960: 61–93). Four of Elisabeth's five brothers (a sixth died in infancy) were army officers (three attaining general rank). One of her nephews, Rear Admiral Karel Doorman, was a Dutch naval hero of the Second World War. More information on Anthonet Hugo's antecedents is given in Appendices I and II.

In 1892, then, Gosewinus and Elisabeth de Voogt had three sons, Willem Jacob (born in 1888), Johannes Gosewinus (1889) and Anthonet Hugo. Four days after the latter's birth, the family moved from Vossiusstraat (near the Rijksmuseum) to Den Texstraat (on the south edge of central Amsterdam). The De Voogts were Dutch Reformed ("Hervormd", usually the less strict form of Dutch Calvinism); Gosewinus' grandfather Rev. Johannes Everardus de Voogt had been a noted minister (see Appendix I). Based upon the city districts and housing they occupied, the family could probably be described as (lower) middle class. In 1894 a daughter, Elisabeth, was born, and at the beginning of the following year the family moved to Hilversum, presumably in connection with Gosewinus' work. It is in this period that he became a writer and journalist (in 1896 he co-authored a book about a type of steam engine, with explanation and historical overview), and after Hilversum the family moved to the eastern city of Deventer where Anthonet Hugo probably first attended elementary school.

1900 saw the family's return to the capital, where they rented the upper storey ("bovenhuis") of a recently-constructed house on the Van Breestraat, once again in the present Museum District of the city. Gosewinus was on the editorial board of the *Amsterdam Courant* (mentioned in the Amsterdam City Archive), a popular magazine, as well as being a free-lance author. It was about this time that he wrote a popular book (in French) on domestic animals (*Les animaux domestiques*), published by Ernest Flammarion, of which there were later Dutch and English versions. In addition to his writing efforts, Gosewinus was active in the youth movement in the Netherlands (and combining his interests, he wrote extensively on the subject), culminating in the country's first Scouting organization. Gosewinus was one of its founders in 1910, and is credited with helping to coin the term "padvinder", the Dutch word for Scouting. These interests must have influenced his children's upbringing (though it is unclear which youth clubs, if any, they were members of).

In 1903 Karel Adriaan, the family's fifth and last child, was born. About this time, Anthonet Hugo should have begun his secondary education at a HBS ("hogere burgerschool") in Amsterdam, a school that would prepare him for higher education in a technical discipline. The father's influence may perhaps be seen in the fact that his three eldest children studied engineering at the Delft institute of technology. Daughter Elisabeth studied law in Amsterdam and received a doctorate in 1921, suggesting the

family had a liberal attitude on social issues such as children's upbringing,[3] education and the role of women. In 1906 the De Voogts moved to the nearby Nicolaas Maesstraat, where Anthonet Hugo set up his first radio station. His parents must have approved of this strictly-speaking illegal venture, though in his extensive writings on amateur radio he says nothing of their attitude. What he does mention is the disapproval of the HBS headmaster (De Voogt, 1926: 350); an independent source notes a run-in with the police (Corver, 1926: 81).

28.3 Formative years: radio and education

To many young people in the first decades of the twentieth century, radio must have had an appeal similar to that of the internet in our own time. It required a degree of technical know-how, but once one had mastered its mysteries there was the possibility of listening in to distant, exotic places. By 1907, the 15-year old Anthonet Hugo's interest had clearly been kindled, as shown by a collection of newspaper and other clippings on the topic of radio telegraphy. The earliest of these dates from about 1907, and they were pasted in a scrapbook which is now in the collection of the Communication Museum in The Hague. This scrapbook is one of the few tangible links to the teenage A.H. de Voogt.

The scrapbook consists of some 90 hand-numbered pages, with clippings pasted on the right-hand side of most; the left-hand (mostly unnumbered) side is usually blank. There is no title, signature or other indication of ownership; but there is a postcard (on p. 30) sent in 1912 to "Stud. Tech. A.H. de Voogt" (by then he was studying engineering in Delft) with a news clipping pasted to it, consistent with Anthonet Hugo having been the owner. The first page (Fig. 28.2) is sort of a tribute to Marconi, who also figures prominently throughout. One is left with the impression that he was rather a hero figure for the teenage De Voogt. The second page is labeled "1907" and subsequent pages follow a rough (but not strict) chronological order, sometimes with the year indicated. Most clippings have no record of origin or date. Some pages are devoted to a single theme (ship wrecks, marine wireless, legal issues, 1909 Nobel Prize in physics, etc.), all concerning radio telegraphy. There are articles in Dutch, English, French, German and Italian, and some sequences of pages are devoted to pieces in one of the last three languages. The articles seem to date from 1907–1914, and some are cited in De Voogt's later writings.

28.3.1 The first radio station: VO

Anthonet Hugo's first radio reception dates from *about the end of 1908* (De Voogt, 1926: 342); even listening was illegal at the time, but the law seems to have been unevenly enforced. The messages received (from ships, shore stations, Marconi transmitters) were entered in logbooks, which by mid-1914 had reached "cahier 28"; he later noted that

[3] Also demonstrated by Gosewinus' leading role in youth movements.

Figure 28.2:
The first page of De Voogt's scrapbook,
showing "Commendatore G. Marconi, L.L.D., D.Sc."
and the Marconi station at Chelmsford, Essex.

> *the first pages of cahier No. 1 reveal practically no readable words; unfamiliarity with the secrets of the telegraph language made it very difficult at first.* (De Voogt, 1926: 344).

But he quickly overcame this impediment, and many years later would write:

> *The use of spark transmitters in the early days gave the radio traffic a strong, individual character. Ships and stations were instantly recognizable in the headphones, as was often the telegrapher from the rhythm of his Morse code.* (De Voogt, 1960b: 211–212).

Knowledge of such details suggests someone who was intimately familiar with the radio profession.

By 1909, Anthonet Hugo added a transmitter to create a full-fledged radio station, one of the first amateur ones in the Netherlands. He records communicating with a fellow HBS student, Siegfried Thomas Bok. De Voogt dubbed his own station VO, while that of Bok was BK (both apparently derived from their surnames). They would practice their telegraph technique by exchanging messages, even using texts from sources like the Bible, as:

> *. . . and bore Cain, and said I have given birth to a man of the Lord, this is without tuning coil, our candle is going out so sleep well bk [–]... – .–*[4]

They also collaborated on a short article on the wireless, published in a popular science magazine (Bok and De Voogt, 1908/9). In describing his first receiver, Anthonet Hugo noted that the tuning coil

> *had not the slightest influence on signal strength* (De Voogt, 1926: 343–344). The receiver bandwidths were apparently so large that a wide range of frequencies could be detected. He credits Bok with noticing the improvement which resulted from proper tuning, which he introduced in his own receiver by the middle of 1909 (De Voogt, 1926: 344).

Besides experimenting with transmissions, De Voogt and the other amateurs would listen to any signals they could receive, which in the early days were mainly communications between shore stations and ships sailing near the coast. A typical one was sent from Radio Scheveningen to the Kronprinzessin Cecilie in November, 1908:

> say, old man, have you perhaps seen a dutch warship in the channel? (De Voogt, 1926: 345).

[4] There is an apparent typo, as indicated. De Voogt called BK the *counter-station of his own VO; notice their near-antisymmetry in Morse code:*
BK = –.../ – .– , *VO* = ... – / – ––
(De Voogt, 1926: 350).

The attraction of 'wireless' to the amateur, apart from its technical challenge, was the possibility of immediate contact with distant (and exotic) places. We must not forget that for most people at the time, the main source of news was the daily paper, or word of mouth; even the telephone was available to only a minority. As Anthonet Hugo himself put it,

> *the fact that there, in a little upper room somewhere in Amsterdam, one was in direct contact with a ship that sought its lonely way on a dark sea, stimulated in no small way the imagination.* (De Voogt, 1926: 345).

By the summer of 1909, Anthonet Hugo had so refined his receiver that he was able to pick up transmissions from the Mediterranean and North Africa.

Earlier that year, in April, the family had made the short move from Nicolaas Maesstraat 51 to Cornelius Schuytstraat 54, where station VO was equipped with a new antenna, one which was collapsible:

> *another antenna was used, with a telescoping pole, whereby the whole antenna could be dismantled or deployed in a couple of minutes. This was because of an 'official' message from the headmaster of the HBS.*
> *So listening was only done at night and no one but the odd milkman or baker who 'in the good old times' were somewhat "matineus" will remember a long pole in the early morning standing on a house on the southern edge of Amsterdam!*
> *Certainly the neighbors will remember that about seven each morning a peculiar jingling of copper wire striking zinc was heard, sometimes followed by a more or less rumbling impact!* (De Voogt, 1926: 350)

More examples of transmissions picked up by Anthonet Hugo can be found in my other contribution to these proceedings (Strom, 2008).

28.3.2 Higher education and a radio activist

In September, 1910, A.H. de Voogt moved to Delft to begin his studies at the "Technische Hoogeschool".[5] A year later he moved again, to the nearby city of The Hague, where he would live for over 20 years. Station VO went with him, collapsible antenna and all, and radio would continue to be an important diversion throughout his student years. It is unclear whether his extracurricular activities might have adversely affected his studies, which were logically enough in the field of electrical engineering. In 1912 he passed his propaedeutic examination on the way to becoming a professional engineer. This was followed by the "candidaats examen electrotechniek"[6] in the summer of 1915, and he

[5] Polytechnic; nowadays Delft Technical University.
[6] Roughly the equivalent of a bachelors degree.

successfully rounded off his engineering education by earning a diploma[7] in January, 1916.

In addition to his studies, Anthonet Hugo was very active as a radio amateur (and – for a time – professional) in the years 1910–1916. At the end of 1911 his name was proposed for membership of the Netherlands Society for Meteorology and Astronomy (*NVWS*),[8] and he probably formally joined the following year. Another new member in 1912 was the journalist Jan Corver,[9] who soon became an enthusiastic radio amateur, and would go on to play an important role in radio circles for decades. The *NVWS* was a nationwide club of mainly amateurs, but also professionals, and from 1911 one local chapter had been formed for the region in and around The Hague,[10] which both Corver and De Voogt had joined. In 1912 the former became chairman and the latter secretary of the Hague branch, which marked the beginning of their public role as advocates of amateur radio.

The group around Corver and De Voogt who were particularly interested in radio called themselves *the merry meteorologists*.[11] Although they were interested in both meteorology and astronomy (Corver had originally studied to enter the merchant marine, so the lessons on navigation would have taught him something about the stars and planets), one suspects that observing the heavens may have taken a backseat to the radio effort. Corver's own exposure to radio only occurred after he had joined the *NVWS*, around the time that he became the local chapter's chairman:

> *It was V.O. who introduced me* [to radio]. *... A cold, wet evening at the beginning of 1913.* (Corver, 1926: 81).

Given other information which Corver mentions, there can be little doubt that V.O. was an alias for Anthonet Hugo. The article goes on to say:

> *shortly after twelve came the great moment of the precursor to the time-signal from the Eiffel Tower ... It was frightfully weak in the still of the night, but immensely impressive.* (Corver, 1926: 82).

Accurate time signals, useful for navigation but also of interest to astronomers, had a potential which was quickly picked up by amateurs.

In addition to time-signals (starting in 1910), the Eiffel Tower began to broadcast weather reports in 1911, which became more detailed two years later. The increasing availability of such information stimulated public interest in radio telegraphy: from a

[7] Which includes the Dutch title "ir" with which he was addressed for the rest of his life. According to a short auto-biographical sketch (*Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **48** (1960), p. 370) he finished his diploma in 1915, but the *Nieuwe Rotterdamse Courant* (*NRC*) reported it on 20 January 1916, (evening edition), p. A1.

[8] *Nederlandse Vereniging voor Weer- en Sterrenkunde* (*NVWS*), founded in 1901; his candidature is mentioned in the club magazine: *Hemel en Dampkring*, **9** (1911–12), p. 116.

[9] *Hemel en Dampkring*, **9** (1911–12), p. 180.

[10] *Hemel en Dampkring*, **8** (1910–11), p. 144.

[11] De Voogt himself mentions, *de dagen van de "lustige meteorologen"* (*Hemel en Dampkring*, **10** (1912–13), p. 167).

technical curiosity for the keen amateur it was becoming a medium of more general utility. This resulted in a movement to legalize private use of radio receivers, and the *NVWS* joined this effort, with De Voogt and Corver clearly in the vanguard. On 11 December 1913, a meeting on *Wireless time-signals and weather reports for private use* was organized by the *NVWS*. Anthonet Hugo was the first speaker, with an introduction on the general topic of radio-telegraphy. He was followed by Corver, who described how the signals, both time and weather, were broadcast from the Eiffel Tower and the German station at Norddeich, and how recent changes showed that the information being broadcast was no longer only intended for ships at sea. Other speakers pointed out that weather and time signals were of interest to various sectors, such as agriculture and tourism. Those attending included a member of the Tweede Kamer,[12] the director of the postal and telegraph service, the head of the meteorological institute and the director of Utrecht Observatory, and the meeting, which received much attention from the press,[13] was considered a great success.

At the end of the meeting, a motion was passed stating that popularization of radio was both useful and desirable, and that laws regulating radio reception should be as unrestrictive as possible. Early in 1914, Corver was granted an audience with the responsible Dutch minister, Cornelis Lely, to discuss making radio reception free for everyone (Corver, as a journalist who reported on parliament, knew his way around The Hague bureaucracy). In an entertaining exhibition, Corver demonstrated how a simple radio could be constructed from readily available and perfectly legal materials, so for its use to be illegal was absurd (for a more detailed account, see Strom, 2008). This led to the law soon being abrogated: anyone interested in using radio could apply for a special permit. By July, there had been so much interest in obtaining a permit that Minister Lely simply dropped, by means of a royal decree, the necessity of requesting a permit. The joy of the amateurs was, however, short-lived: with the outbreak of hostilities at the end of the summer, the minister of war re-introduced the ban on private radio ownership in September, 1914.

By 1914, Anthonet Hugo had become an experienced speaker in the area of radio telegraphy, but also on atmospheric and astronomical topics.[14] As secretary of The Hague *NVWS* chapter, he regularly wrote about club activities in *Hemel en Dampkring*. This was done in his spare time, while he still pursued his studies in Delft. According to two sources,[15] it was in 1914 that he earned a "wireless operator's certificate (class I)", and briefly worked as a Marconi operator at the Naval Radio Station, and onboard ships of the Holland America line.

[12] Lower chamber of the Dutch parliament.

[13] It was reported in several publications, such as the *NRC* of 12 December 1913, (evening edition), pp. B1–B2.

[14] In early 1915, he spoke at an *NVWS* meeting on *Electrons and Atmospheric Electricity* (*Hemel en Dampkring* **12** (1914–15), p. 176).

[15] *Tijdschrift van het Nederlandse Radiogenootschap* **22** (1957), p. 201, which says he worked on board the Nieuw Amsterdam; and *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **48** (1960), p. 370.

28.4 Founding of the *NVVR*, working years to 1945

On January 16, 1916, De Voogt passed the electrical engineering examination at Delft, completing his formal education. He was 23, young in years yet an old hand in the radio world. Europe was at war, but neutral Holland would escape the hostilities. One of his uncles[16] was later credited with having helped steer the land through this dangerous period. Despite her neutrality (or perhaps because of it), the country still needed soldiers; less than two months after completing his degree, Anthonet Hugo was mobilized, and would spend three years as an army officer. What his reaction to this perhaps not unexpected turn of events was, we can only guess. Given the military background of his mother's family, trying to avoid mobilization would have been uncomfortable (not to mention disloyal). From his service record, we do know that a few years after joining the PTT, the question arose as to whether his time in the army could count towards determining his years of tenure. This was answered in the negative,[17] because there was no evidence that if there had been no mobilization, he would have actually begun work as an engineer immediately upon obtaining his diploma. This perhaps suggests that his intention had been to find work as an engineer rather than join the officer ranks.

28.4.1 The Society for Radio Telegraphy

In the spring of 1916, De Voogt and his fellow radio enthusiasts Corver, the brothers O. P. and F. A. Koch, and A. Veder,[18] met in the latter's house in Rotterdam to discuss the possibility of forming a Dutch organization for radio telegraphy, with the primary goal of getting the ban on private radio usage lifted. Several meetings followed until, ten days after Anthonet Hugo's induction into the army, the *Nederlandse Vereniging voor Radiotelegrafie* (*NVVR*) was a fact, with Veder as chairman, Corver its secretary (Corver, 1926: 13–14). The fact that De Voogt was not a member of the first board (he had been on the provisional committee which prepared the way for the *NVVR*) may be related to his recent mobilization. Within 18 months, though the rest of Europe was still at war, private use of radio was again legalized: the *NVVR* had booked its first success.

Life as an army officer did not prevent De Voogt from pursuing his other pastimes. He actively participated in the *NVWS*, and as secretary of the local club for The Hague, he reported on its meetings for *Hemel en Dampkring*. After the summer of 1916, the *NVVR* set up its own local chapter for The Hague and De Voogt was elected its first secretary/treasurer. It may have been around this time that his interest definitively shifted from the *NVWS* to the *NVVR*, which would hardly be surprising as radio had been his first passion. At the end of 1917, he gave up the post of secretary of the *NVWS* local Hague chapter (and Corver's chairmanship ended at the same time). Perhaps

[16] Generaal-Majoor Hoofdintendant W. A. H. Doorman.

[17] And it was confirmed the following year, 1923. However, by 1956 the decision had either been reversed, or the rules changed, for on 23 February he was awarded a certificate for 40 years of service, with mention of his three years in the army. Moreover in a brief autobiography (*Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **48** (1960), p. 370) he says he joined the PTT in 1915.

[18] For more information on Corver, the Koch brothers and Veder, see Strom (2008).

indicative of the changed interests of both men, in its report on the election of their successors, it was noted that the chapter *had shown little sign of life for a long time*[19] De Voogt did continue as a participating member, fulfilling minor functions and giving talks, the last recorded in early 1923 on *Radio weather reports*,[20] but at the end of the year he resigned his membership[21]

Figure 28.3:
The Board of the NVVR and the Exhibition Commission in March, 1918.
De Voogt is the third standing from the left,
wearing an army officer's uniform.
A. Veder, NVVR Chairman, is sitting in the center;
J. Corver is standing, second from the right.

Building on its 1917 success of getting the ban on private use of radio lifted, the *NVVR* decided to organize a radio exhibition which further stimulated public interest in this technical wonder. Anthonet Hugo was a member of the Exhibition-Commission

[19] *Hemel en Dampkring* **15** (1917–18), p. 112.
[20] *Hemel en Dampkring* **21** (1923–24), p. 121
[21] *Hemel en Dampkring* **21** (1923–24), p. 383.

(Fig. 28.3), and the work required must have taken up much of the free time of the organizers. Their efforts were richly rewarded: the First Netherlands Radio Exhibition proved a success which must have exceeded everyone's wildest dreams. Held from 17–21 March 1918 in the salons of the zoo in The Hague, it attracted an average of 1500 visitors per day, including several ministers, other prominent figures from Dutch society, the Queen, Prince Consort and Queen Mother (Fig. 28.4). Public demand for radio equipment increased dramatically, and the *NVVR* saw its membership double to over 1000 in a year.

Figure 28.4:
Visit of Queen Wilhelmina to the Radio Exhibition
in The Hague on 19 March, 1918.
A. Veder is on the Queen's left.

The next few years saw De Voogt's involvement in the *NVVR* continue undiminished. He moved up to become chairman of the local Hague chapter (1919), was member of several committees, and regularly gave talks. He was also elected to the national *NVVR* board, a position he held until 1922 when he rotated off. In 1921, while a member of the board, the society celebrated its fifth anniversary. 1925 saw another exhibition, the

First Netherlands Radio Salon held over the period 29 May – 7 June in the Kurhaus, Scheveningen. De Voogt was an honorary member of the organizing committee. In 1925 he was again a member of the national board, and the following year he participated in the celebration of the society's 10^{th} anniversary. For the occasion, *NVVR* chairman A. Veder had a commemorative book produced, with contributions from experts the world over (Corver, 1926). De Voogt (1926) also wrote one of the chapters, and from its content it appears that he was still active as a radio amateur. However, after 1926 his participation seems to have declined. This may have been the result of changes in his personal circumstances (see section 28.4.2), and of his work for the PTT and related activities.

28.4.2 Professional career and private life, 1919–1930

After a three-year stint in the army, De Voogt was demobilized and could finally set his sights on the career for which he had been trained. By royal decree[22] of 11 February 1919 he was appointed engineer of telegraphy from 16 February, initially for the period of one year.[23] After a few months, he was assigned to the Utrecht office of the PTT for a year and a half (though he continued to reside in The Hague). His work was initially in the area of radio communication. In 1920 he led the team which installed a radio-telegraph station in Rotterdam, for communication with Düsseldorf. It came into service in August. A month later, he took part in a demonstration of communication by radio telephone (Fig. 28.5). September also saw him visit England as a member of a government commission to investigate use of the wireless telephone onboard aircraft.[24]

On 1 April 1919, De Voogt applied for a patent (jointly with Telefunken of Berlin) on a circuit for receiving and amplifying radio-telegraph signals. It seems likely that this was work unrelated to his PTT job, as he had only been with them for six weeks. He published an article describing the invention (De Voogt, 1919). The circuit was basically a filter to separate the low- and high-frequency output of an audion (triode). The patent was granted four years later as NL8749C, but lapsed after a few months when the annual fees were not paid, suggesting it had not been commercially interesting. He published several other articles on topics unrelated to his PTT work, mainly in the area of amateur radio. One piece he wrote did concern a PTT project: he described a radio station recently completed in Sambeek, for receiving telegraph signals from the Dutch East Indies, though he did not himself take part in the work (De Voogt, 1920). In 1920 he was elected member of the Netherlands Royal Institute of Engineers.[25]

1922 saw him involved in an investigation of the failure of a main telephone cable linking Amsterdam and Rotterdam. It turned out that corrosion resulting from water seeping into the cable had caused the failure. Moreover it was suggested that the leak had occurred because of flexure of the cable, caused by its location, adjacent to the track

[22] The post of *rijksingenieur* – state engineer – was a crown appointment.
[23] *NRC*, 13 February 1919 (morning edition), p. B1.
[24] *NRC*, 19 September 1920 (morning edition), p. C1; and *Het Vaderland*, 13 October 1920 (evening edition), p. A2.
[25] *De Ingenieur* **35**, Supplementary Minutes, No. 2 (1920), p. 8.

Figure 28.5:
First successful demonstration of a normal telephone conversation
by means of wireless in the Netherlands.
A Telefunken installation was used to connect
The Hague with Soesterberg in September, 1920.
Ir de Voogt stands on the right, with earphones.
The figure sitting on the left is J. Corver.

of a tramway. The investigation was described in an article published in a professional journal (Petritsch and de Voogt, 1922), and marks a shift away from radio to cable-linked communication. In fact, until 1945 De Voogt worked in the "Long Lines Branch (Cables and Repeaters)",[26] and would seldom again venture professionally into the radio field.

In his private life, 1922 was an important year for De Voogt. On 29 April his impending marriage to Johanna Jacoba van der Waal was announced. She was the daughter of a stone mason, had lived all her life in The Hague and like De Voogt came from a Dutch Reformed family of five children. She was living in a rented room at the time of their marriage (her parents were no longer alive). Johanna and Anthonet Hugo had probably

[26] *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **48** (1960), p. 370.

known each other for over two years.[27] They married in a civil ceremony (with two municipal workers as witnesses) on 12 May; she was five years his senior and according to the marriage license (B622) had no profession. Their only child, Johannes Everhardus, would be born in 1926 (when Johanna was almost 40).

Further signs of Anthonet Hugo's shift away from radio communication in his professional work appeared in 1923. He gave a talk on telephone cables in the Netherlands at a meeting of the electrical engineering section of the Royal Institute of Engineers.[28] A written version was published the following year (De Voogt, 1924). He also applied for a patent (with Felten & Guilleaume Carlswerk A.G., of Köln-Mulheim) on a method for balancing telephone circuits in cables. The patent was granted four years later as NL16817C. As a supplement to and improvement upon this, a second patent application was submitted in 1925. It was approved three years later (NL17951C). Both patents lapsed in 1934 when the annual fees were not paid.

Though his main working terrain may have shifted to fixed-line communication, De Voogt's expertise in radio communication was still called upon. In 1927, together with P.J. Leerink (Deputy Director of the telephone service for Amsterdam), he visited London to make preparations for a wireless telephone connection between The Netherlands and America.[29] And two years later he was a member of a five man delegation to the annual meeting of the Comité Consultatief International des Communications Téléphoniques à Grande Distance (CCIR) in Berlin,[30] the international body which coordinates long distance radio communication. The head of the Dutch delegation, Jhr Ir W.M.H. Brauns, was a Chief Engineer of Telegraphy. It is possible that De Voogt attended other meetings of CCIR in this period; after 1945 he would again be a significant participant.

28.4.3 Career, 1930–1945

In 1931, Anthonet Hugo was himself promoted, by royal decree,[31] to the rank of *Chief Engineer of Telegraphy and Telephony*. In the same year he played an important role in the installation of a new cable linking Amsterdam, Utrecht, 's Hertogenbosch and Eindhoven. Most of the work involved the amplifier station in Eindhoven, and the task was significant as it marked the first time that everything was done by the PTT's own personnel.[32] Two years later he was involved in planning intended to increase automation in the telephone system, and particular reference is made to an invention of his.[33] In this period he was also deputy head of the cable and amplifier service.[34]

[27] In October, 1919, she rented a room at Paulinastraat 8, where De Voogt was also living (according to entries in The Hague municipal archives); perhaps that is where they first met.
[28] *NRC*, 15 December 1923 (morning edition), p. A1.
[29] *NRC*, 13 August 1927 (evening edition), p. D1; and *Het Vaderland*, 15 August 1927 (evening edition), p. A1.
[30] *NRC*, 5 April 1929 (evening edition), p. C3.
[31] *Het Vaderland*, 21 October 1931 (evening edition), p. B3.
[32] *Het Vaderland*, 4 December 1931 (evening edition), p. C2.
[33] *Het Vaderland*, 4 August 1933 (evening edition), p. C1.
[34] *Het Vaderland*, 14 June 1933 (evening edition), p. A2.

At the beginning of August, 1935, De Voogt was promoted to *adjunct-head of the telephone district Utrecht*.[35] Almost a year later, he went on unpaid leave of absence for six months.[36] It is not entirely clear what he did in this period, but a short biographical sketch published near the end of his career states that his entire working life was with the PTT, except for *a break of half a year, when he worked for a private company on Turkish government orders*.[37] The break must have fallen in the second half of 1935. It is striking that from 1934 to 1936, he was more frequently sick than in the previous decade.[38] Perhaps the leave was partly related to his health.

His period of absence had little or no effect on his career. On 1 February 1939 he was promoted to head of the telephone district of Breda, where he remained during the war and German occupation. In May of that year, sadly, his older brother Johannes Gosewinus died after a *brave fight against a lengthy illness*,[39] leaving a wife and son.

During the war, Breda was fortunate to be liberated in October 1944 along with other parts of the south, and so escaped the severest effects of the "hunger winter" suffered by much of the country. There is one curious bit of information concerning Anthonet Hugo's wartime activity. On his entire PTT service record there is a single negative annotation:

> *REPRIMANDS – For lack of the required seriousness, tact and enthusiasm for the measures to be taken related to the evacuation by flooding of the regions involved in Zeeland, serious dissatisfaction is hereby indicated. 6 April 1944.*

It is known that on 4 April, the occupiers flooded large parts of Zeeland as a tactic against allied forces. Clearly De Voogt did something which triggered the displeasure of the authorities.

28.5 Post-war: the radio astronomy years

On 5 May 1945, the war ended in The Netherlands, and the country was liberated. Just two and a half weeks later, De Voogt was promoted to Head of all PTT Radio Services. Presumably his wartime record was considered impeccable (i. e., he hadn't been too cooperative with the occupying authority), as perhaps demonstrated by the 1944 reprimand. In the post-war clean-out of those who might have collaborated, organizations like the PTT dismissed much of their top management, and there was a need to quickly fill these positions. Although he hadn't been involved in radio work for twenty years, De Voogt's earlier intimate experience as both amateur and professional would have made him an ideal candidate. The primary task of his new department, the radio

[35] *Het Vaderland*, 12 July 1935 (evening edition), p. A3.

[36] According to his service record, the leave was initially for four months from 1 July. On 2 December it was retroactively extended to the end of the year. Although clearly stated that the period of absence would not count towards his years of service, by 1956 it seems to have had no effect on determining his 40^{th} anniversary with the PTT.

[37] *Tijdschrift Nederlands Radiogenootschap* **22** (1957), p. 201.

[38] PTT service record. In fact no sick leave was recorded from 1923–1933.

[39] *Het Vaderland*, 22 May 1939 (evening edition), p. C3.

service, was to maintain telegraph and telephone contact with the colonies in the Dutch East and West Indies, and it had at its disposal transmitters near Kootwijk, a receiving station at Noordwijkerhout, and research laboratories at the Kootwijk installation and in The Hague. Much of the transmitting station had, however, been destroyed by the retreating German army.

Radio Kootwijk was built around 1920 for telegraph transmission to the Dutch East Indies. Stations like Sambeek (which De Voogt described early in his career, see section 28.4.2) had shown the feasibility of such a link-up. The station became operational in 1923 (Koomans, 1926). By 1930 voiced transmission had become possible, and Radio Kootwijk provided the link for radio telephone communication with the colonies (De Haan et al., 1988). Many Dutch families had relatives living in what is now Indonesia, and the radio-telephone service became quite popular. During the wartime occupation the civil activities ceased, and the employees who had to operate the facility for the authorities often managed to delay or subtly sabotage its operation. As the German forces retreated weeks before the end of the war, they blew up the high transmission masts and smashed much of the equipment.

Work to get the station operating again began immediately, and by August a 3 kW transmitter for telegraph communication with New York was operational. This was later expanded to include a radio telephone connection with America. There followed short-wave telegraphy to the East Indies in October, and restoration of a radio telephone service to Paramaribo in the same month. By the end of the year it was possible to telegraph several countries in Europe, and the West Indies. In September De Voogt could step down as head of the telephone district of Breda, a function he had continued to fulfill in addition to running the radio service. In December he was promoted to *Chief Engineer First Class*.

A year after war's end, two of the 212 m high transmission masts had been reerected using parts cannibalized from the original six. Radio Kootwijk was well on its way to restoring a full service. While undoubtedly concerned with such developments, De Voogt must have also been thinking about other possible tasks for his new department, and for himself. Based upon his experience as an amateur he would have known that the quality of radio transmission was variable, with diurnal and seasonal effects. The existence of the ionosphere which affects radio waves had been long established, as was the fact that it is strongly influenced by solar activity. Only during the war was it directly shown that the active Sun is a strong emitter of radio waves. De Voogt, with his practical radio experience, interest in astronomy, and a new department which depended upon maintaining reliable contact half way around the world, must have been mulling over these facts.

28.5.1 The early initiatives

In 1946, De Voogt began the initiatives[40] which would establish the first radio astronomy facility in the Netherlands. That some astronomical objects produce detectable

[40] *PTT Bedrijfs banden* **21** (1960), p. 194.

radio emission had been known for over a decade (Jansky, 1932, 1933), but it was the work of Reber (1940) which brought this to the attention of Dutch astronomers. Koelbloed (1941) had summarized the developments for amateurs and professionals alike, and Oort was certainly intrigued by Reber's paper. In 1944 Oort organized a meeting of the Netherlands Astronomy Club, where Van de Hulst (1945) predicted the probable detectability of the 21 cm hyperfine transition of atomic hydrogen (these events have been discussed by Woerden/Strom, 2006).

Hey's detection of radio emission from the active Sun in 1942 was only published after the war (Hey, 1946). It seems unlikely that De Voogt was aware of these developments before 1945, but the information was available,[41] so it is not impossible. He may have also been stimulated by international contacts:

Mr. de Voogt attended the post-war Plenary Assemblies of URSI, IAU, CCIR, UGGI and CSAGI (International Geophysical Year)[42]

After the war, there were URSI General Assemblies in 1946 (Paris) and 1948 (Stockholm), the IAU held its GA in 1948 (in Zurich) and the UGGI (International Union of Geodesy and Geophysics) also met in 1948 (Oslo). It is probable that De Voogt attended most of these, where he would have been able to talk with the leading lights in radio science. (Meetings of the CSAGI only began after 1950.) Fig. 28.6 is a photograph of Ir de Voogt from this period.

Shortly after the war, solar astronomers also began thinking about studying radio emission from the Sun. In Utrecht, J. Houtgast published an article dated 9 January 1946, which argued the case for solar physicists, communication engineers, ionosphere experts and radio astronomers to join forces in tackling the question (Houtgast, 1946). A note added at the end says that an agreement had been reached by the Utrecht Observatory, the Meteorological Institute in De Bilt and the PTT Radio Laboratory (of which De Voogt was the overall head) to work together on the problem. This suggests that early in 1946, De Voogt was in contact with Utrecht astronomers. According to a PTT source,[43] at the beginning of 1947, De Voogt

> *together with Prof. Minnaert (Utrecht Observatory) and the KNMI set up the workgroup 'Sun and Ionosphere'. At about the same time, plans were made together with Prof. Oort (Leiden Observatory) to explore the ... 21 cm ... hydrogen spectral line on the sky.*

The cooperation which began in 1946 had been given a more formal status within a year, and contact had been established with Leiden. At the beginning of 1947, there was also a reorganization within the PTT, which led to the establishment of a new department, the Central Division for Radio (CAR), with De Voogt as its head.

[41] As an engineer he might well have seen Jansky's articles, published in one of the preeminent radio engineering journals. Koelbloed's piece in *H&D* would have been accessible, but he had not been a member of the *NVWS* for years. It is unlikely that he was a regular reader of the *Astrophysical Journal*.

[42] *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **48** (1960), p. 370.

[43] *PTT Bedrijfs banden* **21** (1960), p. 194.

Figure 28.6:
A. H. de Voogt (left) in an animated discussion
with fellow engineer F. O. Bloembergen, ca. 1947.

It is most likely in the period 1946–1947 that De Voogt appropriated a number of Würzburg Riese radar antennas abandoned by the Germans at the end of the war, and had them moved to the Kootwijk station. These 7.5 m parabolic reflectors had a surface more accurate than required for their 50 cm operating wavelength. His group used them for solar observations at various wavelengths between 4 m and 55 cm. But when he became aware of Oort's need for an antenna to search for the 21 cm atomic hydrogen line and made his suggestion (section 28.1 and Fig. 28.1), probably in 1947, that an abandoned Würzburg might be suitable, he must have known that its surface would be usable at a frequency as high as 1400 MHz. A year later, he offered Oort and his group the use of one of the appropriated antennas, as well as the infrastructure (which included a first-class electronics laboratory) available in Kootwijk. It was also in 1948 that Oort and Minnaert set up the *Stichting Radiostraling Zon en Melkweg* (*SRZM*, or Netherlands Foundation for Radio Astronomy), though it would not be legally registered

as a foundation until April of the following year. De Voogt was a founding member of the board[44] of SRZM, which first met at Utrecht Observatory on 26 October 1948.

By 1951, after a rocky start (Woerden/Strom, 2006: 5), the H I team's efforts began to bear fruit. Solar observations were also being carried out on a daily basis. The PTT's radio station at Noordwijkerhout (NORA), where long distance communications were received, was no longer considered suitable (it had become too crowded, and its dry, sandy dunes were less than ideal for reception). A new location just to the southeast of Amsterdam, Nederhorst den Berg, had been chosen. The marshy land there was better for receiving short waves, and the move was completed in 1951: NORA became NERA. In addition to its communication role, the solar observations also moved from Kootwijk to NERA. In 1952, De Voogt relinquished his duties as CAR chief, to head a new division for research in Ionosphere and Radio Astronomy (IRA) which he had founded, and which probably gave him a free hand to lead his research team. At the same time, he became Deputy Director of General Affairs and Radio (*Algemene Zaken en Radio, AZR*) within the PTT.

28.5.2 Purveyor of radio telescopes

De Voogt's initiatives to acquire a number of Würzburg antennas have already been mentioned. He rescued three or more of these 7.5 m reflectors (the exact number is unknown; see Woerden/Strom, 2006: 19; and Beekman, 1999) from the North Sea dunes, and had them installed in Kootwijk. The surface of one was damaged, so his technical people replaced it with a new, larger (10 m) reflector. The group was active for some years, building a number of antennas for radio astronomical measurements. De Voogt (1952b: 211) mentions two 10 m dishes constructed by the PTT, to be installed at NERA and used for interferometer tests. It is unclear whether they ever went into operation. In a photograph from 1948 (Fig. 28.7), one can see a simple corner reflector next to one of the Würzburgs. Two small dipole arrays (Fig. 28.8) were regularly used as a meridian-transit interferometer at 255 MHz. With a 117 m baseline the lobe separation was 35′arc, and the instrument was used to determine the positions of solar active regions (Fokker, 1957). There were also daily measurements of solar polarization made from 1955 (Neubauer and Fokker, 1958). Construction of the interferometric and polarimetric instrumentation was the responsibility if ir F. R. Neubauer.

The biggest project the antenna builders ever undertook was the construction of a 30 m fixed-surface parabolic reflector (Fig. 28.9), arguably the largest monolithic radio telescope ever built in the Netherlands. Called the "kuil" (pit) antenna, it had been hollowed out of a natural depression in the Kootwijk sand which was then lined with cement and chicken wire. It began operating in November, 1951, at a wavelength of 6 m. The paraboloid's axis was aligned some 10° south of the zenith, so that the strong source Cyg A (and also the Andromeda Nebula, M 31) would pass through the beam every day. De Voogt (1952b: 211) wrote that the purpose of the *kuil* antenna was to

[44] Other members were Oort (chairman), Minnaert (vice-chairman), Houtgast (secretary), Van de Hulst, Veldkamp and Stumpers (who was unable to attend the first meeting, so Casimir took his place).

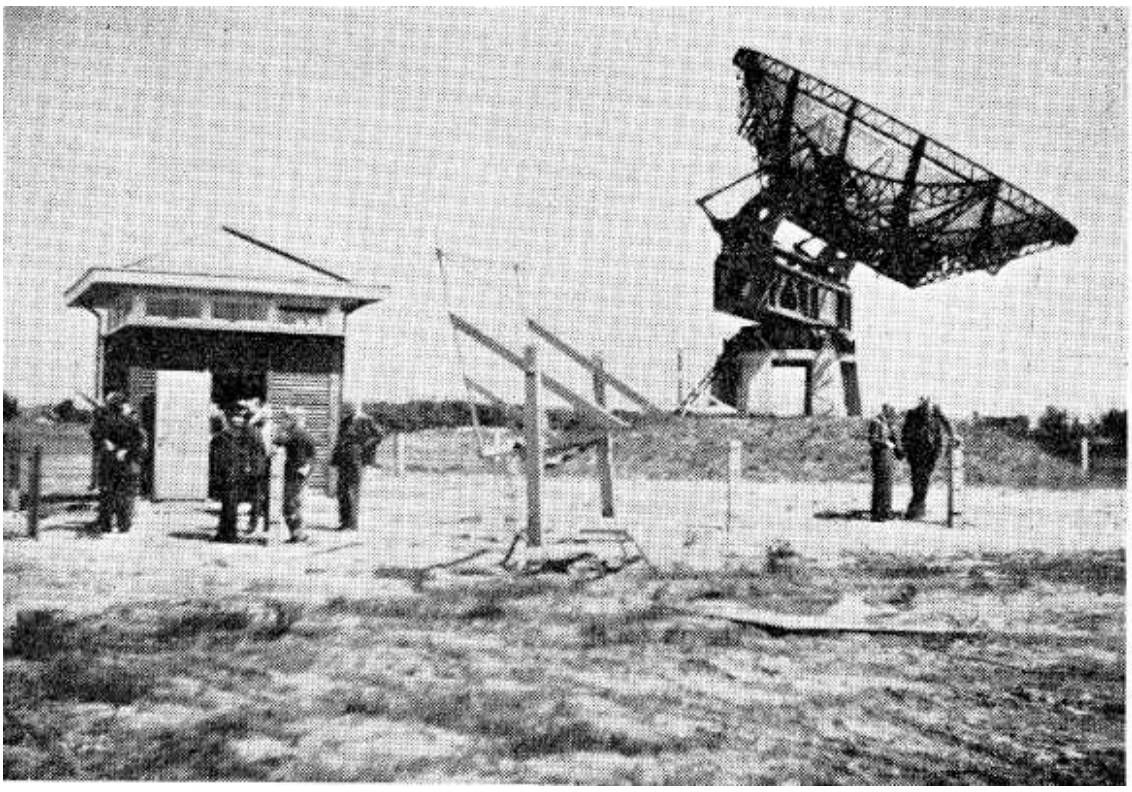


Figure 28.7:
Antennas at Kootwijk in 1949 during a visit
by members of *SRZM* and the working group Sun and Ionosphere.

Houtgast, 1949: 186.

measure the background radiation at a long wavelength, where the ionosphere would partially absorb the emission. From the amount of absorption present, it was hoped that the total electron content could be monitored. The *kuil* antenna may have been intended as a prototype for something more ambitious, for according to G. de Bruin (private communication), who worked for *SRZM* at Kootwijk from 1950–52, there were originally plans for a successor of perhaps 100 m.

The *kuil* antenna was an ingenious idea, apparently entirely De Voogt's initiative.[45] Was it also entirely his idea? It bears much resemblance to the Sydney "hole in the ground" (Orchiston and Slee, 2002), but as that was being built at the same time, and was moreover kept secret, it could hardly have been the source of inspiration. The other contemporary instrument which bears some resemblance was the Jodrell Bank 218 ft fixed parabolic reflector. It did have the concept of a fixed surface looking straight up, though it was not sunk in the ground as the other two were. It was completed in 1947, and had produced striking results by 1950 (including detection of radio emission from M 31 [Brown and Hazard, 1950]), so De Voogt would have been aware of it by the time

[45] Aad Fokker and George de Bruin, private communication.

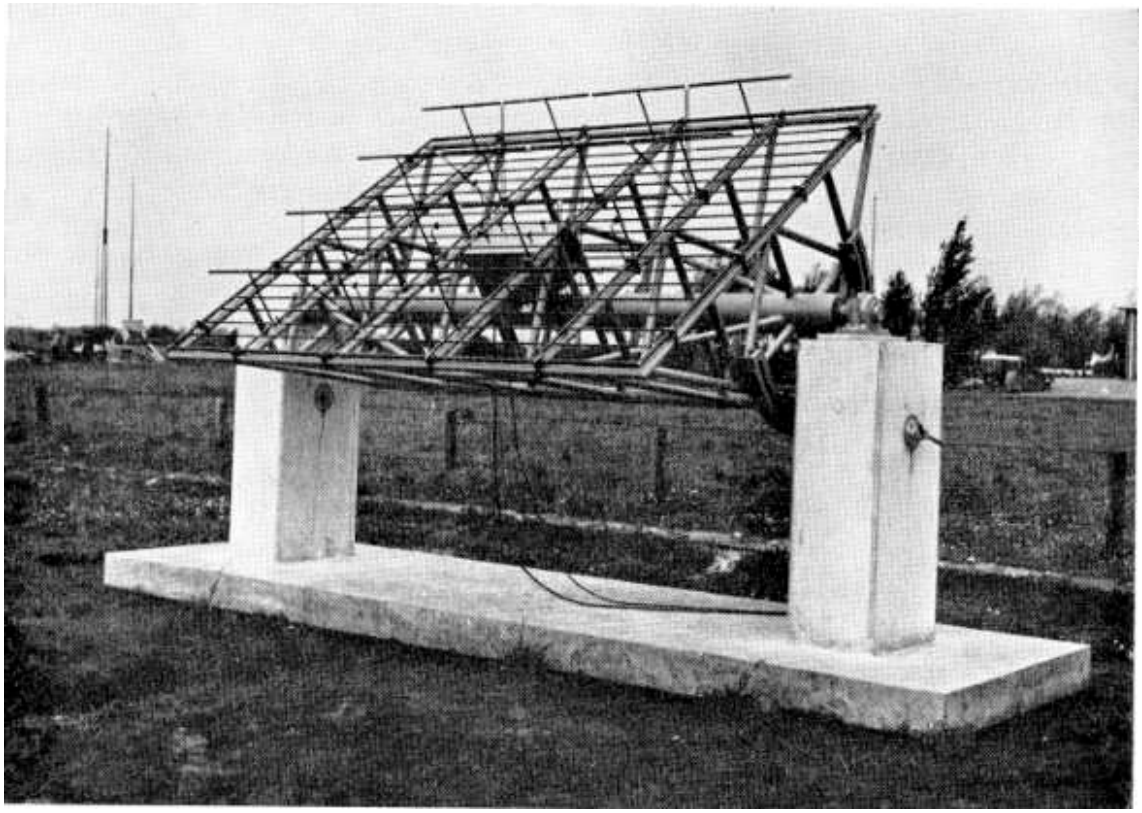


Figure 28.8:
A dipole array, one element of a meridian transit interferometer, used for solar observations at 255 MHz.

Fokker, 1959: 142.

he began his own instrument. All three – the Jodrell 218 ft, Sydney 22 m and Kootwijk 30 m – fixed reflectors can be seen as forerunners of the Arecibo 1000 ft spherical radio telescope. Unlike the other two, however, the results from Kootwijk were modest at best.[46] This may have been largely the result of interference (see section 28.5.4).

The Kootwijk team also constructed antennas for communication experiments. In the mid-1950s, Groenewegen and De Munck (1957) carried out tests using rhomboid antennas for 20 MHz transmissions between Kootwijk and New York.

28.5.3 Sun and ionosphere

The ultimate goal of De Voogt's various radio astronomical initiatives, and certainly the primary concern of his employer, the PTT, was to understand the influence of the

[46] I am aware of only two publications: De Voogt's own article, which included three daily emission profiles from 1952 (De Voogt, 1952: 213), and a study of scintillation (Van't Veer, 1956).

Figure 28.9:
The "kuil" antenna at Kootwijk, a 30 m paraboloid sunk in the ground. The 10° tilt to the south (left) can be clearly seen.

Photograph from A. Hin.

(active) Sun upon the ionosphere to the extent that long distance radio communication could be made more reliable. Or as Houtgast (1946: 93) put it, the Netherlands

> *has an interest in good and effective radio communication and in coming to grips with the possibilities and difficulties which Nature, as a result of the influence of solar radiation upon the ionosphere, presents us with.*

De Voogt and his team tackled the problem in several ways, by studying both the Sun and the ionosphere.

The solar effort consisted of daily monitoring of radio emission from the Sun at a variety of wavelengths. Most of the observing and data reduction was done by other members of the team, and De Voogt's name seldom appeared as co-author of the papers they published. His main role was to organize the observations, and especially coordinate the international effort. He became closely involved in the organization of a 'world-wide survey' of the Sun. During the 1950 General Assembly of the International Union of Radio Science (URSI) in Zurich, Commission V (Radio Astronomy) created a sub-commission, Va, whose purpose was

> to organize and report on continuous observation of the solar radio emission by a chain of observatories. (Seeger et al., 1954: 615).

De Voogt was appointed chairman of Va.

Regular reports on radio emission from the Sun had begun several years earlier, with flux density measurements from Cambridge, Canberra and Perth in the 75–200 MHz band first reported in the *Quarterly Bulletin on Solar Activity (QB)* in 1947 (*QB* 77). NERA joined the effort in mid-1951 (*QB* 95), and would continue to provide data for 19 years. The other seven stations in the original club were, Cambridge, UK; Potts Hill and Mt. Stromlo, Australia; Mitaka and Toyokawa, Japan; Meudon, France; and Ottawa, Canada (De Voogt, 1952b). The participants would, however, change with time, some contributed to the *QB*, others to the URSI exchange organized by De Voogt, and some to both. NERA steadily augmented the data it provided, to include additional frequencies, polarization, and by 1957 accurate positions were added to pinpoint active regions. In the same year, through another of De Voogt's initiatives, geophysical stations were established at Hollandia, Netherlands New Guinea, and Paramaribo, Surinam, with sufficiently sensitive antennas at 200 and 545 MHz to detect solar outbursts. The former would operate for five years, the latter for almost ten. This effort was made in the context of the International Geophysical Year (IGY), 1957–58.

At the end of 1951, Oort organized a second colloquium on radio astronomy, in Utrecht, and De Voogt spoke on solar radio emission and the ionosphere (De Voogt, 1952a). He described, in a qualitative exposition, how the different kinds of solar radiation influence the ionosphere. It was in fact in the area of ionospheric studies that De Voogt played a more active research role. He initially published three articles on the propagation of radio waves in the ionosphere (De Voogt, 1948, 1949 and 1950), in which he tried to model how rays leaving the Earth's surface would be refracted to return to it. This work was extended by two English language articles, the first of which analytically calculated the paths of low frequency (1–20 MHz) radio waves through an ionosphere of some assumed electron density profile (De Voogt, 1953). In the second, he investigated how radio propagation occurred in a variety of model ionospheres (De Voogt, 1960a). As a practical application of these calculations, he was involved in radio-echo experiments from Katwijk[47] at 51.3 MHz (De Voogt, 1956). He also carried out measurements of earth-potential differences at several observing stations, as an indication of magnetic and ionospheric storms (De Voogt, 1954).

As was the case with the solar investigations, for the ionospheric effort as well De Voogt became involved in international coordination. The CCIR set up a commission, VI J, on radio propagation in the ionosphere, and he was its chairman. In 1955 he was also appointed to the Permanent URSIgram Commission.[48] During the IGY, NERA, together with Paris and Darmstadt, formed the European Regional URSIgram center.[49]

In 1949, the PTT applied for a patent,[50] with De Voogt as the inventor, which may have been inspired by his ruminations on the ionosphere. The essential idea was to receive two different kinds of Morse code symbols with radio telegraphy, by using right- and left-circularly polarized signals. The patent was applied for at the time that he had

[47] On the North Sea coast near Leiden; not to be confused with Kootwijk!

[48] The URSIgram service began around 1930, broadcasting daily bulletins of ionospheric, geomagnetic, solar and other cosmic data useful to radio services and researchers.

[49] *PTT Bedrijfs banden* **21** (1960), p. 194.

[50] NL75713C, granted 16.8.1954. It lapsed 15.3.1960 when the annual fees were not paid.

finished his first two articles on radio propagation in the ionosphere (De Voogt, 1948 and 1949). In that work, he considered the ordinary- and extraordinary-components into which a linearly polarized radio wave is decomposed, as opposite hands of circular polarization. While one cannot prove how his thinking developed, it seems not unlikely that the idea of splitting a Morse code signal into the orthogonal states of circular polarization had its roots in the ionospheric investigation. If this speculation is correct, then it tells us something about De Voogt's (subconscious) way of doing science: by noting analogies between unrelated problems.

With the benefit of hindsight, one has to conclude that the research carried out by the IRA group added marginally at best to our understanding of the ionosphere, and certainly led to no fundamental breakthroughs. The solar work was perhaps more successful, and the monitoring data were available for the wider community to assemble a more complete picture of the Sun in all its complexity. The importance of the 24-hour daily coverage of solar 200 MHz emission provided uniquely by the stations at NERA, Paramaribo and Hollandia during the IGY was emphasized by Prof. Helen D. Prince (University or Michigan), who visited De Voogt's group in The Hague in the spring of 1959.[51] Yet while the data may have added to the catalogue of solar phenomenology, we were still far from understanding the solar-terrestrial interactions which governed the behavior of the ionosphere. In terms of what the PTT might have hoped to gain from the IRA effort – an improvement in long distance radio communication – the harvest must have seemed meager.

This contrasts strikingly with the H I research carried out by Oort's group, which had not only detected the 21 cm line in 1951, but by 1955 had mapped most of the Milky Way in neutral hydrogen (Woerden/Strom, 2006: 8–10). Ironically, a star 8 light-minutes from our doorstep was a much harder nut to crack than the movements of 100 billion stars and numerous gas clouds spread over 100,000 light years. But there was a threat to continued use of the 21 cm wavelength band, one which Oort and most astronomers were probably unaware of, but which De Voogt realized like no one else.

28.5.4 The battle against radio interference

At the 1952 URSI General Assembly in Sydney, Australia (which De Voogt did not attend), the president Sir Edward Appleton noted,

> we are all much indebted to the Chairman of Sub-Commission Va of our Union, Dr. A.H. de Voogt, who has drawn the attention of CCIR to the need for reserving a frequency band centred on [the] hydrogen wavelength [of 21 cm] free from radio-communication traffic. (Robinson, 2002).

No doubt others, particularly those with experience in radio communication, would have been aware of this potential problem, and De Voogt's membership of the most relevant

[51] University of Michigan Research Institute, Project Report 2451-1 (Studies of variations in the Earth's magnetic field due to solar activity).

international bodies (especially URSI Commission V, and CCIR) meant he was well-placed to raise it at a high level. His appreciation of the danger of external (manmade) interference had roots which can be traced right back to his amateur days.

The early spark transmitters, and simple radio receivers, had such large bandwidths that it was not uncommon to hear several stations simultaneously. As noted above (section 28.3.1), after his retirement, De Voogt (1960b) wrote with some nostalgia that the audible characteristics of different transmitters made them *instantly recognizable*, thereby enabling their signals to be disentangled. Near the end of his active amateur radio period, the problem of overcrowded airways and mutual interference was underlined by two incidents. The first concerned the coast station Scheveningen Harbor, one of the oldest in the country. In an article published in *Radio-Express*[52] and entitled *A figure of mockery*, De Voogt criticized the way the station caused interference to radio broadcasts, especially in France and England:

> *The coast station has lost its way, ... blindly applying outdated rules ... becoming a figure of mockery to radio authorities abroad. It cuts through the broadcasts of Chelmsford and 'Radiola', interfering in a most despicable way.*

The piece pulls no punches and is scathing in its criticism of the Dutch authorities.

The following year saw the inception of a *Netherlands Radio-Listeners Society*, an organization whose goal was to encourage radio owners to be considerate of others in the operation of their receivers. Among the types of anti-social behavior enumerated, was that of causing interference to other listeners by poor maintenance or irresponsible experimentation with radio equipment. De Voogt's name appeared as one of the district representatives in The Hague,[53] and given his active participation in the *NVVR* at the time, he was probably closely involved in the initiative.

Of greater immediacy to the situation in the early 1950s was the radio astronomy effort at Kootwijk. The Würzburgs and a number of other instruments, including the 30 m *kuil* antenna, had been installed there by 1951, and all suffered from interference. This should have surprised no one: Kootwijk was a *transmitting* station, pouring out kilowatts of power. Interference was the main reason for moving the solar effort to NERA, and had much to do with the *kuil* antenna's lack of success. Oort's H I team also found it a hindrance ("we ... learned to cope with strong interference from the nearby transmitters" [Muller, 1980: 68]), and was only too happy to move to the new Dwingeloo Observatory in 1955. While the Kootwijk situation may have been the trigger which spurred De Voogt to act, his repeated experiences would have been a warning for the dangers that manmade interference posed.

Having pointed out the problem and the best solution, he characteristically contributed to the effort required for its implementation. At the IAU General Assembly in Dublin in 1955, he was one of the proposers, with Laffineur, Hagen, Ryle and Vitkevitch, of a resolution giving the general conditions for allocating frequency bands to radio astronomy (Pawsey, 1955: 588). And when the 1957 URSI General Assembly set

[52] Reported in *Het Vaderland*, 9 January 1925 (evening edition), p. C1.
[53] *Het Vaderland*, 26 January 1926 (evening edition), p. C1.

up Sub-Commission Ve on frequency allocation, he was one of the original members (Robinson, 1999: 67).

28.6 Later years, his achievements and legacy

His years of service and the contributions De Voogt made to radio science did not go unrecognized. In 1952 he shared the Veder Prize[54] for his role in the 21 cm HI-line discovery. In 1956 he received a certificate from the PTT to mark his 40 years of service, and the following year he was awarded a knighthood[55] on the occasion of his 65^{th} birthday. Despite having reached retirement age, he was allowed to stay on for the duration of the IGY effort. As an employee of the PTT he had reached the high rank of Deputy Director of General Affairs and Radio in 1952, and seven years earlier he had been promoted to Chief Engineer First Class. His retirement in 1960 was marked by the award of a valedictory medal, and a special word of thanks[56] appears at the end of his PTT service record. He remained a member of the board of *SRZM* until 1962.

De Voogt's physical presence (he was about the same height as Oort, who was of diminutive stature; see Fig. 28.1) belied his character: *fighting fit and going his own way*;[57] an *initiative taker*; someone who wanted quick results. At the same time, he was described as an introvert, who spoke little about himself or his private life (A. Fokker, private communication[58]), though he was not a distant or aloof person. One of the people involved in the early 21 cm observations in Kootwijk said that De Voogt would regularly drop in at the Würzburg site and have a chat about their progress, and that he was still cognizant of the technical side of things (G. de Bruin, private communication). A. Koeling (private communication) had great respect for De Voogt, and thought that he was held in high regard by the personnel at Kootwijk.

Anthonet Hugo de Voogt died on 14 November 1969 in The Hague[59] at the age of 77. In an in memoriam, Ennen (1970) wrote,

> *With the death of Mr. de Voogt, a remarkable figure has passed away who will continue to live in the memory of those who knew and worked with him.*

At the funeral, Jan Oort asked Aad Fokker to say a few words on behalf of the astronomers, because of his closer contact with De Voogt.

[54] The prize was a legacy of A. Veder, co-founder and first chairman of the *NVVR* (see section 28.4.1). It was awarded most years to an individual or group for significant advances in radio science in the Netherlands. In 1952, Van de Hulst, Muller, Stumpers and De Voogt shared it for the H I work, with P. Neve who conducted experiments on long distance communication in the 70 cm band.

[55] Order of the Netherlands Lion (*Ridder in de Orde van de Nederlandse Leeuw*); such an award was not uncommon for someone who fulfilled a high function in the civil service.

[56] "Dank betuigd voor de door hem aan de lande bewezen diensten."

[57] *Tijdschrift van het Nederlands Radio Genootschap* **22** (1957), p. 202.

[58] Aad Fokker, who worked under De Voogt's supervision for almost a decade, also noted that neither he nor his colleagues at NERA were aware of De Voogt's significant role in amateur radio in his younger years, although they did know of his interest in astronomy.

[59] According to one source (*Tijdschrift van het Nederlands Radio Genootschap* **35**, 1970, 46) he died in Zeist.

Now, almost forty years later, he is perhaps best remembered among Dutch astronomers as the 'man from the Post Office' who provided Oort's group with an antenna to observe the 21 cm hydrogen line. It may be fair to say that he is better known by radio amateurs as one of the first among their number (though Jan Corver and Anthony Veder are probably more widely recognized). His relative obscurity among radio astronomers likely stems from the fact that he tended to work behind the scenes, and his name appeared on few of the papers produced by his IRA group. The fact that he was in the first place an engineer rather than a scientist may also have something to do with it. He should, however, be more widely remembered for numerous international initiatives, not least for being the initiator of protected bands for passive services like radio astronomy.

28.7 Appendix I: the De Voogt family

"De Voogt" is a rather uncommon Dutch surname.[60] The family of interest here can be traced back to about 1800. Anthonet Hugo's great grandfather, Johannes Everardus [or Everhardus] de Voogt (1.8.1806–13.7.1863) was born in Utrecht.[61] His parents were Gosewinus de Voogt and Johanna Buddingh. He studied theology in Utrecht and was ordained in 1830 as a Dutch Reformed minister, but a serious illness and other factors delayed the start of his career. His first parish, where he began in 1832, was in Langbroek, a village near Wijk bij Duurstede. He became minister of a church in Nijmegen in 1835. Ten years later he took up a new post in Amsterdam, where he remained for the rest of his working life. Johannes Everardus was married to Johanna van Linden van den Heuvel, and they had nine children, of whom Willem Jacob (Anthonet Hugo's grandfather), born in 1837, was the third. Their eldest, Gosewinus (born in 1832) was particularly talented, but died while still a student in 1852. He had kept a diary, and his father published extracts from it which became so popular that the book went to a second printing. Johannes Everardus also published some of his own sermons and other writings. He died in Wijchen in 1863. It is possible that he was related to Johannes Everhardus de Voogt (1782–1855), who was also born in Utrecht but later became a prominent landowner in Wageningen. He and his son Nicholas Gosewinus (1818–1874) were dealers in tobacco, with a large enterprise in Sadang, Java.

Willem Jacob de Voogt[62] was eight when his father took the family to Amsterdam. He received training in business, and then became a partner in the firm Wijsman and De Voogt which dealt in stocks and insurance. His first wife, Anthonetta Muntendam, was

[60] There are only about 60 "De Voogt" entries in the current telephone book for the Netherlands. The similar – but distinct – spelling variant "De Voogd" is a bit more common; this may explain the error in Muller's piece (cited in section 28.1).

[61] See Frederiks and Van den Branden (1888–1891): 846; also available on the web: `http://www.dbnl.nl/auteurs/auteur.php?id=voog004`.

[62] Biography in *Levensberichten van afgestorvene medeleden van de Maatschappij der Nederlandsche Letterkunde.* Leiden: E. J. Bril (1876): 121–124; Frederiks and Van den Branden (1888–1891): 846. Also available at the website: `http://www.dbnl.nl/auteurs/auteur.php?id=voog005`.

born in Nijmegen in 1831. 1863 saw the birth of their son, Gosewinus (Anthonet Hugo's father). Anthonetta died only fourteen months later at the age of 33, so Gosewinus was raised by his father until he was seven. In 1870, Willem Jacob married Hugoline Christine van de Werk (born in 1845), who came from Zaltbommel. They had a son, Willem Cornelis, in 1871, and a daughter, Johanna Elisabeth, in 1873. Though Willem Jacob's profession may have been dealing in stocks and insurance, his passion was numismatics where his expertise was widely known and much respected. He collected coins and medals, in particular those minted in the province Gelderland and his birthplace Nijmegen, and his collection was

> *the finest and most complete assembly ... of coins minted by the counts and dukes of Gelre.*[63]

But his hobby went well beyond mere collecting, for he also investigated the underlying history, and wrote extensively about it, for which he had been elected to the *Society of Dutch Letters* and several other domestic and foreign learned bodies. He published a number of books and articles on the coins and medals of Gelderland and Nijmegen (De Voogt, 1866, 1869). In 1874 he completed his history of coins from Gelderland (De Voogt, 1874), the first volume of a complete history of the coins of the United Netherlands from 1576 to the Napoleonic period. He was busy with the second volume when he died in December, 1875, just 38 years old.

So having spent most of his early years motherless, the 12 year old Gosewinus now had no father. Whatever the success of Wijsman and De Voogt might have been, it apparently left little to Willem Jacob's widow, who had two young children and Gosewinus to care for. The reasons for splitting up the family (see section 28.2) were probably financial; most likely Hugoline could rely on family support back in her hometown, while Gosewinus' education might have been the reason he remained in Amsterdam. The family he stayed with, Rev. Hendricus Berlage and his wife Rebecca were caring for four children, but had none of their own. As already noted (section 28.2), both his mother Anthonetta and Rebecca were Muntendams, which was also the surname of three of the children already with the Berlage's. It is not unlikely that they were all related, and it is even possible that Rebecca Berlage had helped care for Gosewinus after Anthonetta's death.

Gosewinus stayed with the Berlages until 1881 (when he was eighteen and had presumably finished secondary school), and then moved to Haarlem. Though it is not known what he did there, upon his return to Amsterdam in 1887 his profession according to the municipal registry was that of engineer. In addition to a vocation, he had acquired a bride, Elisabeth Doorman. They remained in the capital for eight years, but moved to Hilversum in 1895 only to return to Amsterdam from Deventer at the turn of the century. This hiatus was most likely related to Gosewinus' job, which in 1900 was listed as member of the editorial board of the *Amsterdam Courant*. In fact he had become a

[63] *Levensberichten van afgestorvene medeleden van de Maatschappij der Nederlandsche Letterkunde.* Leiden: E.J. Bril (1876): 122. Also available at the website: `http://www.dbnl.nl/tekst/_jaa002187601_01/_jaa002187601_01_020.htm`.

journalist and free-lance writer, as shown by the two books published by 1900 (section 28.2). In the following years he wrote, translated and edited a series of books and pamphlets on diverse subjects: animals, the youth movement, scouting, travel, life style, the Balkans. He wrote a book about Serbia after a visit to the country just before war broke out in 1914; whatever he said, it must have pleased the Serbian government, for he was knighted by them. In 1914 he published a booklet about a *cause célèbre*, the death of the Dutch army officer Major L.W.J.K. Thomson in Albania. Certain events related to its preparation were to cause a diplomatic row with Serbia after Gosewinus' death. In addition to these free-lance activities, he was the editor-in-chief of a popular illustrated magazine, *Eigen Haard*, for awhile. At the time of his sudden death[64] in November, 1918, he was working for the Dutch press bureau Vaz Diaz.

Gosewinus' interests, attitude towards young people, and avocation must have affected all his children in their formative years. It can hardly be a coincidence that four of the five would earn academic degrees. His technical background can only have been a stimulus to his third child's early interest in radio telegraphy, and one cannot reasonably argue that it would have played no role in three of his sons pursuing engineering studies. Regarding the De Voogt family extending back to Johannes Everardus, one talent which regularly appeared was for writing, certainly if expressed in terms of getting one's texts published. If this was a question of genes, then Anthonet Hugo had inherited them in abundance, though unlike his father (and oldest brother) he only indirectly earned his bread through the pen.

The oldest of Gosewinus' and Elisabeth's children, Willem Jacob (clearly named after his grandfather), studied chemistry in Delft, but by 1919, when he married Agatha Cornelia Boonacker (born 1883 in Utrecht), he had become a journalist. Their first child, Hugo Gosewinus, was born in 1921. Willem Jacob's brother, Johannes Gosewinus (named after their great grandfather and father, or an earlier generation Gosewinus), earned a diploma in chemical engineering from Delft in 1914, and two years later married Wietske Barendine Tamminga van Eysinga (born 1893 in Amsterdam), a law student. In 1919 she earned her doctor of laws degree in Amsterdam.[65] Johannes worked for several oil companies, and in 1923 joined the *Amsterdam Cargo Transport Company* (MAGV, which was owned by her father) as a commissioner. The same year saw the birth of their son, Ellis. Johannes, Wietske and her sister Elly (a painter and architect, born in 1899) all joined the board of the MAGV in 1926, when the company was restructured. Two years later the sisters became company directors when their father Cornelis died, aged 62.[66] Johannes died a decade later, not yet 50, after a long illness.[67]

[64] *NRC*, 8 November 1918 (evening edition), p. A1.
[65] *NRC*, 22 January 1919 (morning edition), p. A2.
[66] There are biographies of Cornelis and his two daughters, with their photos, in Van den Aardweg (1938). They can also be accessed at the website of the International Institute of Social History: `http://www.iisg.nl/ondernemers`.
[67] *Het Vaderland*, 19 May 1939 (evening edition), p. A3.

Elisabeth, the only daughter of Gosewinus and Elisabeth (and clearly named after her mother[68]), graduated from Amsterdam's City Gymnasium (Diploma A[69]) in 1914. She then, like her sister-in-law Wietske, studied law[70] in Amsterdam and received her doctor's degree in 1921.[71] Six years later she married Henry Robertus Joan Castendijk, and they had three children (one of whom died in infancy). Her younger brother Karel Adriaan (probably named after his maternal grandfather) does not seem to have gone on to higher education. He married Anna Maria ter Laag in 1936.[72]

28.8 Appendix II: the Doorman family

Anthonet Hugo's mother Elisabeth was born a Doorman, a family with a long military tradition. The male line can be traced back to the seventeenth century (see De Josselin de Jong, 1960: 61–93), to Harmen Dorman (ca. 1654–1741). His son was Johann Diederich Do(o)rman (1713–1792), who in turn begot Heinrich Jan Diederich Doorman (1744–1794). The last two generations lived in The Hague. The son of Heinrich Jan Diederich was Johannes Diderikus Doorman (1770–1827) who attained the rank of major-general in the Napoleonic period. He and his first wife Aagje Marees Huisduinen (1777–1817) had four sons who reached adulthood, three of whom became army officers. A year after becoming a widower, he married Alida Jacoba Gerlach (1787–1865), and two of their three sons also became army officers. The one who did not go into the military, Karel Willem Frederik Doorman (1821–1899), was Elisabeth's father. Born in The Hague, Karel married Adreana Jacoba Bruce (1821–1903), worked for the railway in Groningen, became a salesman, and then moved his family to Herwen en Aerdt near Lobith where he was a civil servant checking shipping on the Rhine. Elisabeth was born and married in Herwen en Aerdt. Four of her brothers attained high military rank. Carel Willem Frederik (1853–1929) retired as Colonel (titular) of Military Administration. Willem August Henri (1857–1930) was Head Quartermaster, and attained the rank of Major General. When he retired in 1918, he was specially commended for service to the country. Robert Gerrit (1860–1954) was a Lieutenant General of infantry in the *KNIL*, the colonial

[68] There might be some irony in this. It may seem curious that Anthonet Hugo was named after two women, his father's mother and step-mother, yet one can imagine that Gosewinus planned to name his first daughter after them, but when a third son came along impatience got the better of him. Then – how fickle is lady luck – the fourth child would be the long hoped for girl.

[69] *NRC*, 25 June 1914 (morning edition), p. B3.

[70] The study of law was popular among Dutch women who obtained a university degree in the early twentieth century. This can be traced, it is said, to a novel about the rights of women, *Hilda van Suylenburg* by Cécile de Jong van Beek en Donk (1897). Its eponymous heroine rebels against the empty life of society women in cities like The Hague at the century's turn. Her friendship with Corona van Oven, a doctor (modeled on Dr. Aletta Jacobs, the first woman admitted to university study in the Netherlands) who experiences daily the oppression of women and points out the need for better legal protection, also of children, inspires Hilda to study law in order to improve the lot of the powerless in society.

[71] *Het Centrum*, 8 July 1921, p. 6.

[72] *Het Vaderland*, 1 October 1936 (morning edition), B2.

army in what later became Indonesia (and probably served under the notorious General J. B. van Heutsz). And Hendrikus Johannes (1867–1934) was Major General of artillery.

The following generation of Doormans also produced high-ranking military officers, including the most famous of all, Karel Willem Frederik Marie (1889–1942), the son of Carel Willem Frederik. He entered the Navy rather than the Army, and eventually rose to the rank of Rear Admiral. He commanded several ships of the Dutch Navy in the 1930s, and served in other high naval posts. In 1942 he had an allied task force under his command in the Java Sea, and was ordered to attack an approaching Japanese invasion fleet.[73] However, insufficient air support, poor communications and exhausted sailors meant that his ships were no match for the Japanese, and were routed. Doorman chose to go down with his flagship rather than abandon it. For his heroism he was posthumously knighted, and a Dutch frigate has been named after him.

Acknowledgements

I am grateful to several colleagues for discussions on the early days of radio astronomy in the Netherlands. I particularly wish to thank Aad Fokker, George de Bruin and Albert Koeling, who were able to tell me something about A. H. de Voogt's personality. I have also benefited from talks with Wim Brouw, Kees de Jager and Huug van Woerden, and am grateful to Ari Hin for discussions and copies of his photographs, one of which is shown in Fig. 28.9. The photographs used in Fig. 28.5 and Fig. 28.6 are from the collection of the Communication Museum in The Hague, and are reproduced here with the Museum's permission.

Special thanks are due to Gudrun Wolfschmidt for her gracious invitation to attend the Heinrich Hertz Symposium, for energetically organizing it, and for generously providing financial support.

28.9 References

Aardweg, H. P. van den: *Personalities in the kingdom of the Netherlands in word and picture: Netherlanders and their work.* Amsterdam: Van Holkema en Warendorf 1938 (in Dutch).

Beekman, G.: A birthday without the one being celebrated. In: *Zenit* **26** (1999), pp. 154–157 (in Dutch).

Bok, S. T. and A. H. de Voogt: Wireless Telegraphy. In: *De Natuur* (1909), pp. 179–182, published under pseudonym "Radio's" (in Dutch).

Brown, R. H. and C. Hazard: Radio-frequency radiation from the great nebula in Andromeda (M 31). In: *Nature* **166** (1950), pp. 901–902.

Corver, Jan (ed.): *Gedenkboek N.V.V.R. 1916 Maart 1926.* Rotterdam: privately published 1926 (in Dutch, English, German and French).

Corver, Jan: Ten years of radio journalism. In: Corver 1926, pp. 80–86 (in Dutch).

[73] A contemporary account was given in, *Het Vaderland*, 18 March 1942 (morning edition), p. 1.

Ennen, M. C.: In Memoriam ir. A. H. de Voogt. In: *De Ingenieur* **82** (1970), p. ET 46 (in Dutch).

Fokker, A. D.: Interferometer position determinations. In: *I.R.A. Report* **No. 12** (1957).

Fokker, A. D.: Noise-active regions on the Sun. In: *Hemel en Dampkring* **57** (1959), pp. 139–151 (in Dutch).

Frederiks, J. G. and F. J. van den Branden: *Biographical dictionary of the North- and South-Netherlands literature.* Amsterdam: L.J. Veen 1888–1891 (in Dutch).

Groenewegen, H. G. and J. C. de Munck: Tests with variable rhomboid antennas. In: *I.R.A. Report* **No. 11** (1957) (in Dutch).

Haan, C. de; Udo, L. and B. van de Pol: *Between sand and senders.* Den Haag: privately published 1988 (in Dutch).

Hey, James Stanley: Solar radiations in the 4–6 metre radio wavelength band. In: *Nature* **157** (1946), p. 47.

Houtgast, Jacob: Sun and ionosphere. In: *Hemel en Dampkring* **44** (1946), pp. 91–93 (in Dutch).

Houtgast, Jacob: The radio radiation from the Sun. In: *Hemel en Dampkring* **47** (1949), pp. 181–191 (in Dutch).

Hulst, Hendrik Christoffel van de: Origin of the radio waves. In: *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* **11** (1945), pp. 210–221 (in Dutch).

Jansky, Karl Guthe: Directional studies of atmospherics at high frequencies. In: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **20** (1932), pp. 1920–1932.

Jansky, Karl Guthe: Electrical disturbances apparently of extraterrestrial origin. In: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **21** (1933), pp. 1387–1398.

Jong van Beek en Donk, C. de: *Hilda van Suylenburg.* Amsterdam: Scheltema & Holkema (1897) (in Dutch). Reprinted in 1984 by Feministische Uitgeverij Sara. Amsterdam; also on the internet:
`http://www.dbnl.org/tekst/jong063hild01_01`.

Josselin de Jong, F. de (ed.): *Nederland's Patriciaat* **deel 46**. The Hague: Centraal Bureau voor Genealogie 1960 (in Dutch).

Kleibrink, H.: *The building of a radio telescope.* Film (1957) (in Dutch).

Koelbloed, D.: Cosmic radio waves. In: *Hemel en Dampkring* **39** (1941), pp. 25–27 (in Dutch).

Koomans, N.: *Historical overview of the national post and telegraph radio service.* In: Corver 1926, pp. 221–244 (in Dutch).

Muller, Christiaan Alexander: The radio observatory Westerbork. In: *Hemel en Dampkring* **67** (1969), pp. 56–62 (in Dutch).

Muller, Christiaan Alexander: Early galactic radio astronomy at Kootwijk. In: *Oort and the Universe.* Ed. by Hugo van Woerden; W.N. Brouw and H.C. van de Hulst. Dordrecht: Reidel 1980, pp. 65–69.

Orchiston, Wayne (ed.): *The new astronomy: opening the electromagnetic window and expanding our view of planet Earth.* Dordrecht: Springer 2005.

Orchiston, Wayne and B. Slee: Ingenuity and initiative in Australian radio astronomy. In: *Journal of Astronomical History and Heritage* **5** (2002), pp. 21–34.

Pawsey, J. L.: Commission 40 report. In: *Transactions of the International Astronomical Union* **IX** (1955), pp. 563–589.

Petritsch, E. F. and A. H. de Voogt: Report on the corrosion of the telephone cable found at Halfweg. In: *De Ingenieur* **37** (1922), pp. 98–100 (in Dutch).

Reber, Groote: Cosmic static. In: *Astrophysical Journal* **91** (1940), pp. 621–624.

Robinson, B.: Frequency allocation: the first forty years. In: *Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics* **37** (1999), pp. 65–96.

Robinson, B.: Reminiscences of Early 21-cm Research at the CSIRO. In: Taylor, A.R.; Landecker, T.L. and A.G. Willis (ed.): *Seeing Through the Dust, ASP Conference Proceedings* **276** (2002), pp. 19–22.

Seeger, C. L.; MacRae, D. A.; Williamson, R. E. and H. C. van de Hulst: Appendix. In: Oosterhoff, P.Th. (ed.): *Trans. IAU* **VIII** (1954), pp. 613–617.

Strom, Richard: Radio astronomy in Holland before 1960. In: Orchiston 2005, pp. 93–106.

Strom, Richard: Ir A. H. de Voogt: life and career of a radio pioneer. In: *Astronomische Nachrichten* **328** (2007), pp. 443–446.

Strom, Richard: Highlights of amateur radio in the Netherlands to 1926. In: this book, p. 397.

Veer, F. van't: Cygnus A scintillation. In: *I.R.A. Report* **No. 8** (1955).

Voogt, A. H. de: Use of the audion at high frequencies. In: *De Ingenieur* **34** (1919), pp. 347–351 (in Dutch).

Voogt, A. H. de: The national radio receiving station at Sambeek. In: *De Ingenieur* **35** (1920), pp. 164–168 (in Dutch).

Voogt, A. H. de: Report on locating and solving interference problems in the national telephone cable system. In: *De Ingenieur* **39** (1924), pp. 135–137 (in Dutch).

Voogt, A. H. de: Memories from the ether world. In: Corver 1926, pp. 338–352 (in Dutch).

Voogt, A. H. de: Propagation of radio waves in the ionosphere. I. In: *Tijdschrift van het Nederlands Radio Genootschap* **13** (1948), pp. 183–195 (in Dutch).

Voogt, A. H. de: Propagation of radio waves in the ionosphere. **II**. In: *Tijdschrift van het Nederlands Radio Genootschap* **14** (1949), pp. 73–85 (in Dutch).

Voogt, A. H. de: Radio echoes around the Earth. In: *l'Onde Électrique* **30** (1950), pp. 433–437 (in French).

Voogt, A. H. de: Relationship between radio phenomena of the sun and the terrestrial ionosphere. In: *Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde* **18** (1952a), pp. 142–144 (in Dutch).

Voogt, A. H. de: Radio astronomy in our land. In: *Hemel en Dampkring* **50** (1952b), pp. 209–214 (in Dutch).

Voogt, A. H. de: The calculation of the path of a radio-ray in a given ionosphere. In: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **41** (1953), pp. 1183–1186.

Voogt, A. H. de: The use of earth-potential measurements for magnetic- and ionospheric storm-indication. In: *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics* **5** (1954), pp. 108–110.

Voogt, A. H. de: Short report on 51.3 MHz tests. In: *Verslagen I.R.A.* **No. 17** (1956) (in Dutch).

Voogt, A. H. de: Ionospheric models as an aid for the calculation of ionospheric propagation quantities. In: *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* **48** (1960a), pp. 341–346.

Voogt, A. H. de: Radio memories. In: *Tijdschrift van het Nederlands Radio Genootschap* **25** (1960b), pp. 211–212 (in Dutch).

Voogt, W. J. de: *Notes on Nijmegen City Medals.* Amsterdam 1866 (in Dutch).

Voogt, W. J. de: *Notes on Commemorative Medals from Gelderland's Office of Auditors.* Amsterdam 1869 (in Dutch).

Voogt, W. J. de: *History of the coinage of the United Netherlands.* **I.** *The Province of Gelderland.* Amsterdam 1874 (in Dutch).

Woerden, Hugo van and Richard G. Strom: The beginnings of radio astronomy in the Netherlands. In: *Journal of Astronomical History and Heritage* **9** (2006), pp. 3–20.

Figure 29.1:
"Würzburg-Riese" (7.5-m-reflector for RADAR),
used for radio astronomy after the war in the Netherlands
Photo: Gudrun Wolfschmidt in the Deutsches Museum in Munich

From Würzburg Giant to the Giant Telescope – Development of Radio Astronomy in Germany until 1970

Gudrun Wolfschmidt (Hamburg)

Abstract: Entwicklung der Radioastronomie in Deutschland bis 1970

Nach der Entdeckung der elektromagnetischen Wellen durch Heinrich Hertz (1857–1894) 1887 versuchte man bereits 1896, kosmische Signale oder extraterrestrische Wellen zu finden. In den 1930er Jahren entdeckte man Radiosignale von der Milchstraße und von der Sonne mit einem System von Antennen und bald auch mit Reflektoren. Eine parabolische Schüssel wurde verwendet; im Brennpunkt wurde eine Schwingung im Dipol induziert.

Mit dem deutschen „Würzburg-Riesen"' (7,5 m-Reflektor für RADAR) begann die Radioastronomie nach dem Krieg; besonders in den Niederlanden, in UK und Australien. In Deutschland wurden in den 1950er Jahren vier Zentren aufgebaut: Kiel, BRD, (Dipol-Antennen-Feld und 7,5 m-Reflektor), Freiburg, BRD, (3 m-Reflektor und Radiospektrograph), Berlin-Adlershof, DDR, (36 m-Transit-Teleskop) und Potsdam, DDR, (einige Antennen für solare Radioastronomie).

Seit 1952 begann Friedrich Becker (1900–1985), ein erstes großes deutsches Radioteleskop, einen 25 m-Reflektor, auf dem Stockert in der Eifel zu planen (1956). Für kurze Zeit war es zusammen mit dem Radioteleskop in Dwingeloo (25 m-Reflektor) das größte in der Welt. Aber schnell steigerten sich die Dimensionen der Radioteleskope – eine Entwicklung in Richtung Big Science. In den 1960er Jahren versuchte man, ein neues Teleskop zu bekommen; diese Initiative war erfolgreich: 1971 wurde der Reflektor mit 100 m Durchmesser eingeweiht (MPI für Radioastronomie, Bonn) – es war bis 2000 das größte voll bewegliche Radioteleskop der Welt.

29.1 Radio waves from space

Electromagnetic waves were discovered in 1887 by Heinrich Hertz (1857–1894). He succeeded in generating and measuring terrestrial radio waves. The wavelength range is from 15 m up to 0,4 mm; this corresponds to a frequency of 20 MHz to 750 GHz. After the discovery one tried to find cosmic signals or extraterrestrial radio waves since the 1890s: Thomas Edison (1890) in the USA, Johannes Wilsing (1856–1943) und Julius Scheiner (1858–1913) (1896) in Potsdam, Germany, Oliver Lodge (1894/1900) in England and Charles E. Nordmann (1902) in France.

Independent from the first radioastronomical experiments one tried to develop a radar system. The discovery of RADAR is due to the German engineer Christian Hülsmeyer (1881–1957), who got a patent for his "Telemobiloskop" in 1904: "Hertzian-wave Projecting and Receiving Apparatus Adapted to Indicate or Give Warning of the Presence of a Metallic Body, such as a Ship or a Train, in the Line of Projection of such Waves". But inspite of the successful demonstration on the river Rhein in Cologne there was no interest in the invention, because the distance of detection was not large enough.

RADAR means: RAdio Detection And Ranging (Funk-Ermittlung und Abtastung). In the 1930s, especially in England and Germany, one started to be interested in radar technology for military purposes.[1] Three German firms started to develop the radar technology (Funkmeßtechnik): GEMA, Telefunken and Lorenz. The "Würzburg-Riese" (a code word of the time of WW II) as a target tracking radar (Zielverfolgungsradar) was introduced (range up to 70 km). It had a parabolic dish of 7.4 m diameter. The "Würzburg-Riese" was operated in the range of decimeterwaves. About 1500 were built until the end of the war in the Zeppelinwerke in Friedrichshafen.

29.2 American, British and German Pioneers of radio astronomy

In 1932 the radio engineer Karl Guthe Jansky (1905–1950) worked at the Bell Labs in Holmdel, New Jersey, and discovered with a rotating antenna system (wavelength 15 m) radio waves from the universe, especially from the Milky Way, while he was checking static noises in the short wavelength range radio communication.

Much more successful was the radio engineer Grote Reber (1911–2002) in Wheaton, Illinois, who constructed in 1937/38 an antenna by using wooden and iron plates. A parabolic dish of 9,5 m diameter for focussing the radio waves was used. The form of the reflector, the parabolic dish, was an archetype for later radio telescopes. In the focal point a vibration was induced in the dipole. The resulting electric current is fed into the receiver and amplifier.

In 1942 K. Fränz, an engineer of Telefunken, published observations of the radio signal of the Milky Way made with a dipol array at wavelength of ten meters. With these

[1] Blumtritt/Petzold/Aspray 1994.

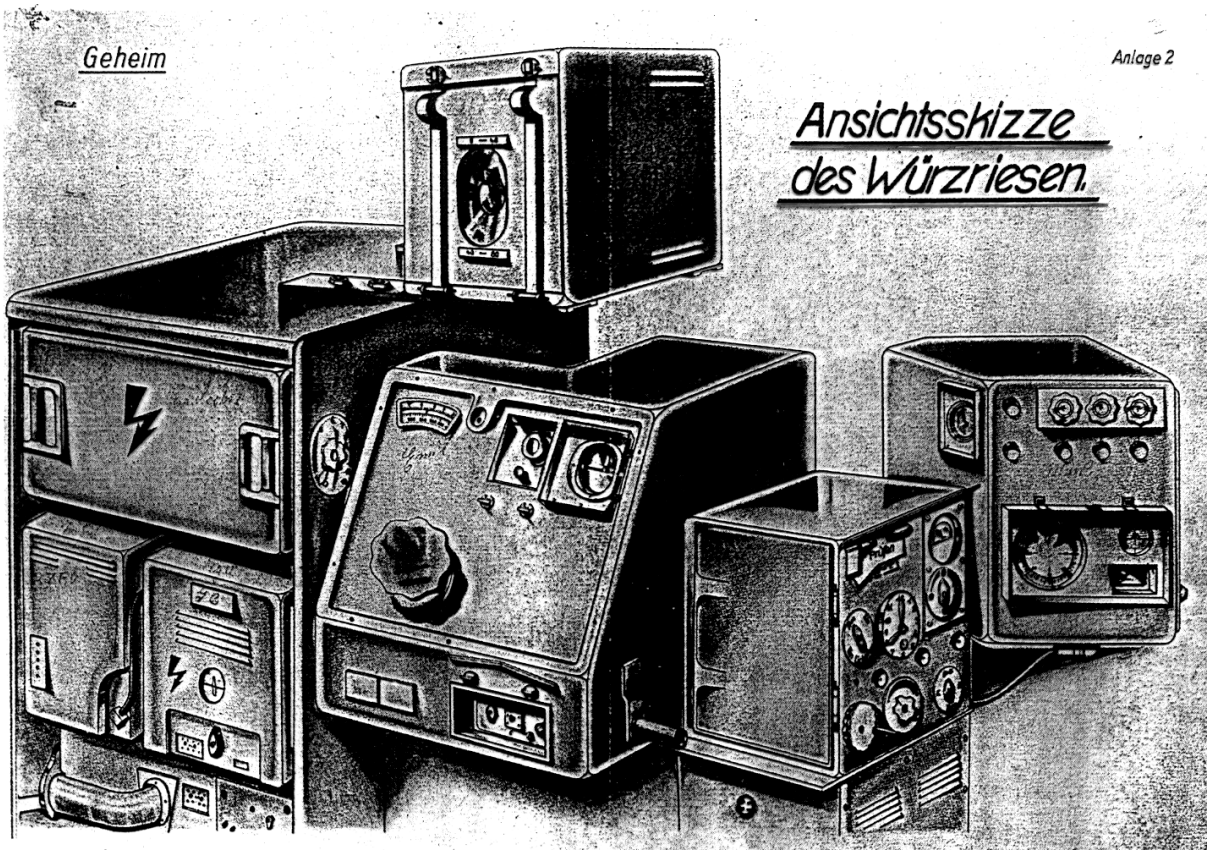


Figure 29.2:
German RADAR "Würzburg-Riese"
Private archive Gudrun Wolfschmidt

activities a second large window after the optical window was opened for electromagnetic waves from the cosmos.

In February 12, 1942, the German warships Scharnhorst and Gneisenau succeeded to cross the channel undiscovered by the English radar. James S. Hey, who worked in the radar division of the British Military, found as origin of the event a noise from the Sun. E. Schott succeeded already in 1939, to deliver a – less spectacular – confirmation of solar radio signal by using 1.7 m wavelength with a radar type Freya, a dipole array of 2.4 m × 7.2 m as antenna (175 MHz). In addition J. Southworth had discovered in the second half of the year 1942 that even the quiet Sun emits radio signals.

29.3 The rise of radio astronomy after the War

After WW II a rapid development of radio astronomy took place.[2] It started with the German "Würzburg-Riese" (a 7.5-m-reflector for RADAR). Like in the case of optical telescopes one wanted to measure weaker and more distant objects and increased the diameter of radio dishes in the 1950s as well as the resolving power. In the early postwar time the Netherlands, England, the USA, Russia and Australia were centers of research, but also France, Sweden, Russia, Czechoslowakia and Poland were active.

In the beginning of radio astronomy one discovery followed another. By comparison with optical sources, photographed at Mount Palomar Observatory, one discovered since 1948 that the radio sources are on one hand supernova remnants (Cassiopeia A or Taurus A = Crab) or radio galaxies (Cygnus A). The continous radio signals are measured in the meter-wavelength range, because it reaches the highest intensity in the Milky Way. In 1944 it was predicted that neutral hydrogen atoms emit radio radiation at 21 cm wavelengths (1420 MHz). Their existence was confirmed in 1951 independently in three observatories: in The Netherlands, in Australia and in the USA (Harvard). Thus the spiral structure of the Milky Way, already suspected in the 19th century, could now be proved by means of radio astronomy by using the 21 cm line of neutral hydrogen.

29.4 Starting points of radio astronomy in Germany

There existed theoretical work from the solar physicist Karl Otto Kiepenheuer (1910–1975) in Freiburg and from the astrophysicist Albrecht Unsöld (1905–1995) in Kiel. After WW II research and development in the field of radar was forbidden in Germany until the middle of 1950s. In Germany in the 1950s four centers were built up: Kiel and Freiburg in the West (BRD), Berlin-Adlershof and Potsdam in the East (GDR).

In Kiel – here Albrecht Unsöld was interested – one started in 1949 with a dipole antenna array at a frequency of 200 MHz. End of the 1950s a parallactic mounted radio telescope of 7.5 m diameter (according to the dimensions of the former Würzburg-Riese) was built in Kiel for observing the Sun. This is still existing today but in bad condition; the future is uncertain. A chart with the isophotes of the Milky Way was measured by Franz Dröge und W. Priester in 1956.

In Freiburg – under the initiative of Karl-Otto Kiepenheuer – radio experiments were also made since 1949 and one built in 1955 a 3-m-telescope (2,6 GHz) in order to study the radio signals of the quiet Sun as well as the bursts of the active Sun.

The solar radiospectrograph was used from 1955 to 1962 at the Solar observatory at Freiburg-Schauinsland (first light in 1957), then it came under control of the Astronom-

[2] Radio waves can be observed with radio telescopes. These are huge arrays of antennas or curved metal mirrors with individual diameters of up to 600 meters. These parabolic dishes collect the radio waves in a focal point. The dipole antenna or a horn antenna in the focus transforms the incoming electromagnetic waves in electric currents, which are fed into an amplifier and then data are processed into a computer recorder in the control center.

Figure 29.3:
Parallactic mounted radio telescope (7.5 m), Kiel University
Photo: Gudrun Wolfschmidt

ical Institute of the University of Tübingen in Weißenau near Ravensburg. Six dipole antennas are mounted on a circular track of 15 m in diameter.

In the Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung in Berlin-Adlershof Otto Hachenberg (1911–2001) began in 1951 observing radio signals of the Sun. In 1957 a 36-m-transit telescope was built for measurements at 559 MHz. This large instrument was distroyed in the meantime.

Since 1953 Herbert Daene (1906–1975), who worked at the Astrophysical Observatory Potsdam, observed bursts at wavelength larger than 1 m. Solar observations started in Tremsdorf near Potsdam (OSRA: Observatory Solar Radio Astronomy) already in the 1950s with an increasing number of instruments, antenna arrays and radio telescopes.[3]

[3] Aurass/Mann (1995), S. 213–220.

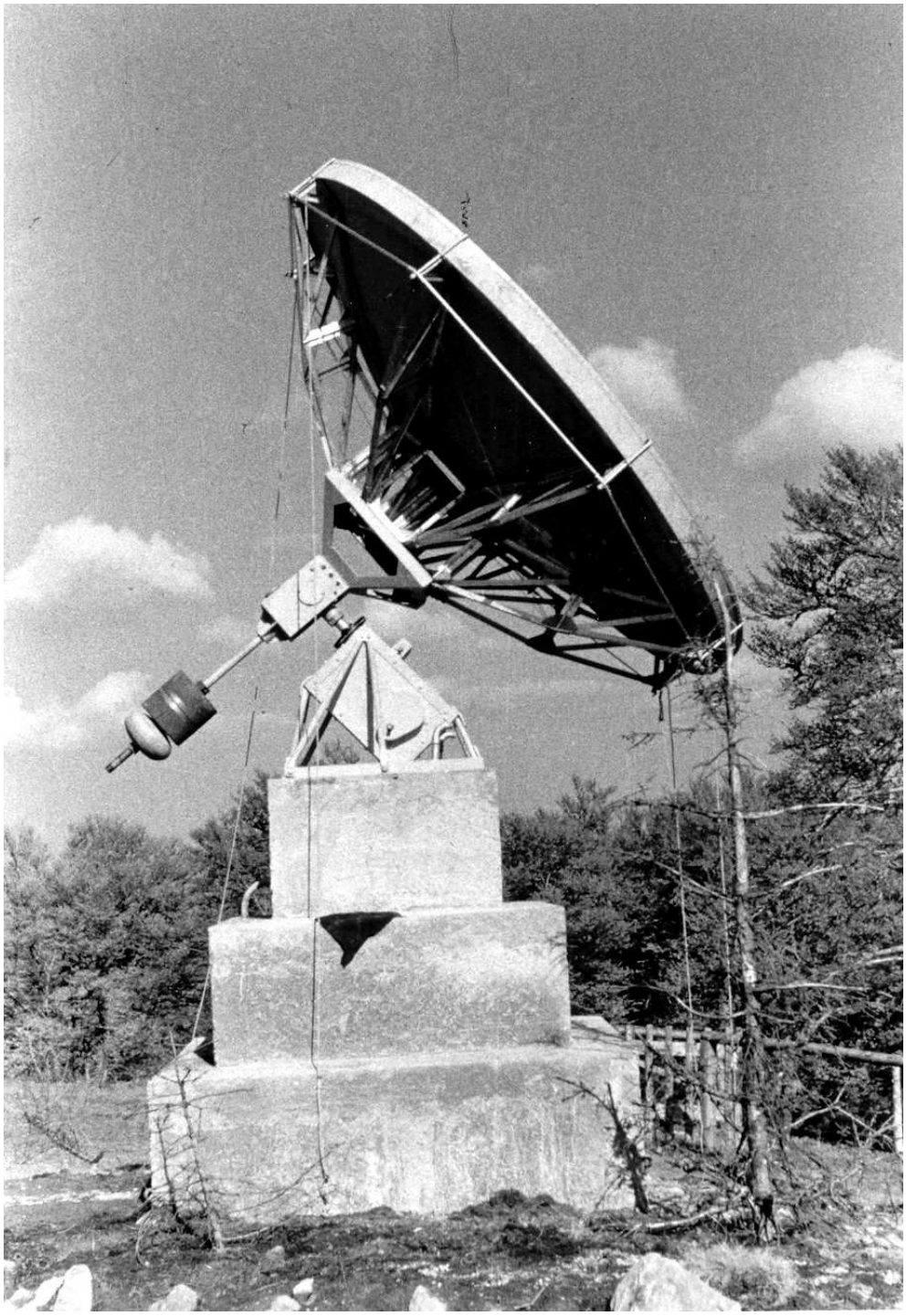


Figure 29.4:
3-m-radio telescope Freiburg (1955), 2,6 GHz
Private archive: Gudrun Wolfschmidt

Figure 29.5:
Solar Radio spectrograph, Weissenau bei Ravensburg (1957), 48 to 165 MHz
Photo: Gudrun Wolfschmidt

29.5 The Stockert Radiotelescope – the first successful German endeavour

Since 1952 the interdiction diminuished and plans for a large-diameter radio telescope went off.[4]

Since 1952 Friedrich E. Becker (1900–1985) Professor of Bonn University, started to introduce ultra short wave astronomy as a new field of research in Germany. Becker was strongly supported by Leo Brandt (1908–1971), State Secretary in the Ministry for Economy and Transport in Nordrhein-Westfalen. Leo Brandt, who promoted research in Nordrhein-Westfalen very much and studied – as a pioneer in the field of radar – the influence of the allied interdictions on the German communication technology, the tube technology and navigation.[5] In 1956 Becker built the 25-m-radio telescope on top of the Stockert mountain near Bad Münstereifel. This was deliberately not in a valley, because the militaries wanted to use it also for radar. Together with Dwingeloo (25-m-reflector) it was the largest in the world for a short time.

[4] Mezger/Schwarz (1983).
[5] Brandt 1956.

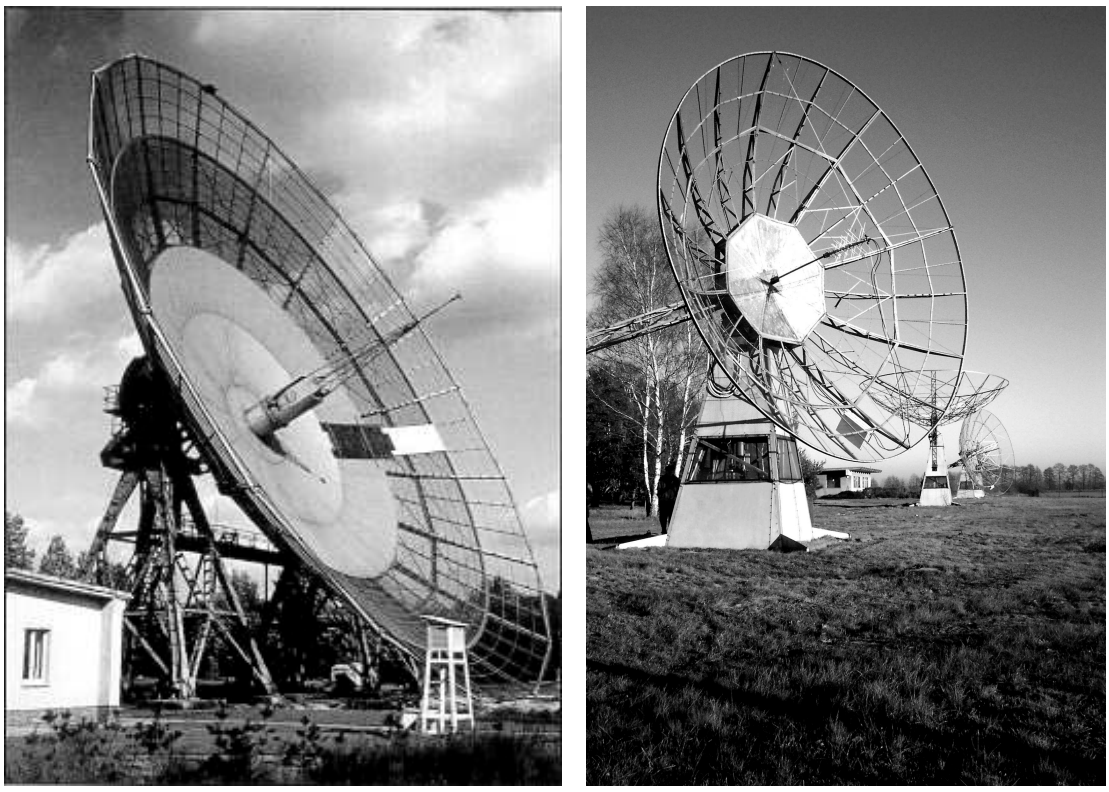


Figure 29.6:
Left: 36 m transit telescope, Heinrich-Hertz-Institut
für Schwingungsforschung in Berlin-Adlershof, 1957
Right: Tremsdorf near Potsdam: 10 m-radio telescope
besides an antenna array, 4 antennas 100 m × 400 m

Regarding the technology the instrument was an important step of the German industry in the postwar time:[6] For the metal framework construction of the reflector the Zeppelinwerke (Metallwerk Friedrichshafen) could be used, who had a lot of experience in this metal technology: An outer 25 m light metal ring is connected by radial bars with the 12,5 m inner ring made from steel. The mirror is made from metallic wires with a surface of 600 square meters. The reflector was not fully covered with metal, but with perforated aluminium sheets of 2 mm strength. For long wavelengths this had the same impact as a fully metallic plane. This wire network had positive effect in summer: it facilitates the expansion at high temperatures and on the other side it helps in case of strong wind; it decreases the wind pressure by 20%. The reflector is mounted on an octagonal concrete tower, 17 m high, in form of a pyramide with 23 m diameter in the basis. The architecture of the telescope is characteristic for the 1950s.

[6] Krug 1962.

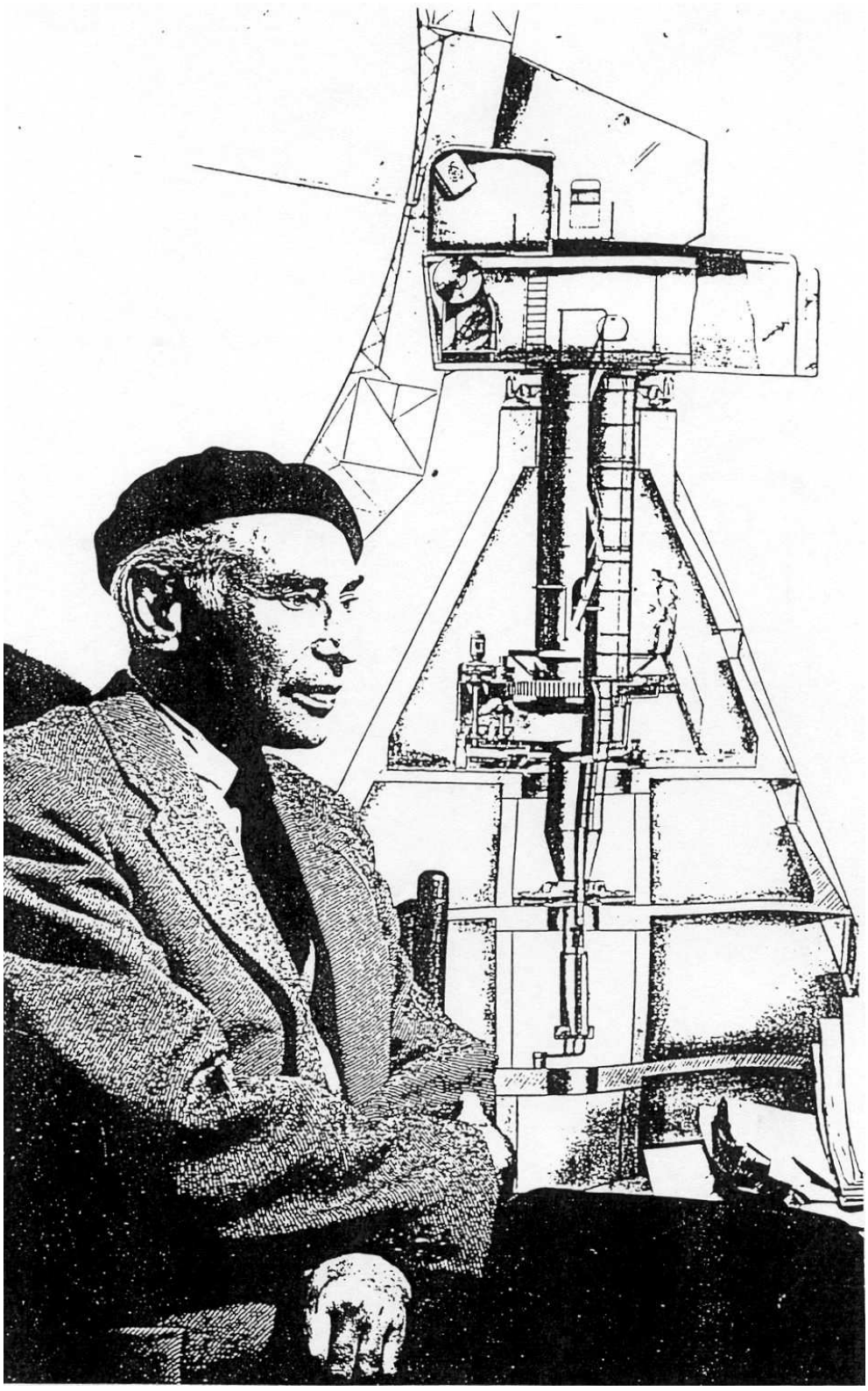


Figure 29.7:
Friedrich E. Becker (1900–1985)
in front of the Stockert radio telescope

Hamburg Observatory

Figure 29.8:
Construction of the Stockert telescope, 1952–56

In that time, one did not yet have the computer technology necessary to convert different coordinate systems. A so-called analog computer completed the calculations mechanically. The company Rademaker of Holland designed a special coordinate transformer for this purpose. In 1968/69 a computer (Prozeßrechner type Argus 400) for guiding and data processing was introduced. The heart of the radio telescope, a master piece of high frequency technology of that time, was the spectrometer, a receiver- and measuring apparatus for radio signals, made by TELEFUNKEN. It was especially designed for the 21 cm range of wavelength of the interstellar hydrogen.[7]

The significance of the Stockert radio telescope in a scientific, political, economic and historic aspect was very high; the architecture fitted well in the landscape. It served as a model for the large Effelsberg telescope.

29.6 Effelsberg – the development towards the giant telescope

In the 1960s very quickly the dimensions of radio telescopes were increased. Many countries started to build large radio telescopes, e. g.: 1957 – 76 m-radio telescope, Jodrell Bank, Manchester, 1961 64 m-Radio telescope in Parkes/Australia, 1962–1988 91 m-Radio telescope in Green Bank, West Virginia and finally the 300 m Arecibo.[8]

In the 1960s one tried to get a new radio telescope also in Germany. In 1964 an application for getting a very large radio telescope, written by the three directors in Bonn in the field of astronomy, was successful. They received 27 Million DM from the Volkswagenstiftung. For running the telescope a new organisation was required, this led in 1967 to the foundation of the Max-Planck-Institute for Radio Astronomy (MPIfR) in Bonn. In 1971 the 100-m-diameter antenna was inaugurated; it was until 2000 the largest fully steerable radio telescope in the world. The telescope has been used to prove the existence of molecules in space, to investigate objects in our Milky Way, as well as galaxies, quasars, radio galaxies, clusters of galaxies, and the cosmic background radiation. 40 of the 100 supernova remnants in the northern sky were discovered using this telescope.

Radio waves can be deflected by metal surfaces. In order to focus 4 mm waves in one focal point, the main reflector may only deviate ideally from a paraboloid by 0.3 mm. For this reason, the 2352 panels, which make up the total reflector surface, must occasionally be aligned by adjusting the four adjusting screws.

Different dipols were in use for receiving the radio waves: from 1970 a dipole for 74 cm waves (resolution 37′), from 1971 a receiving horn for 11 cm waves (resolution 4.4′), from 1973 a double-beam antenna for 2 cm wavelengths (resolution 1 minute of arc), from 1980 a receiving horn for 9 mm waves (resolution 42″), most of them were made in the workshop of the Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn but some by Telefunken.

Finally the development of amplifiers with increasing sensitivity should be shortly mentioned: first in the 1950s electronic tubes with Yagi antennas were used, then in the

[7] Becker 1963.
[8] Hey 1973.

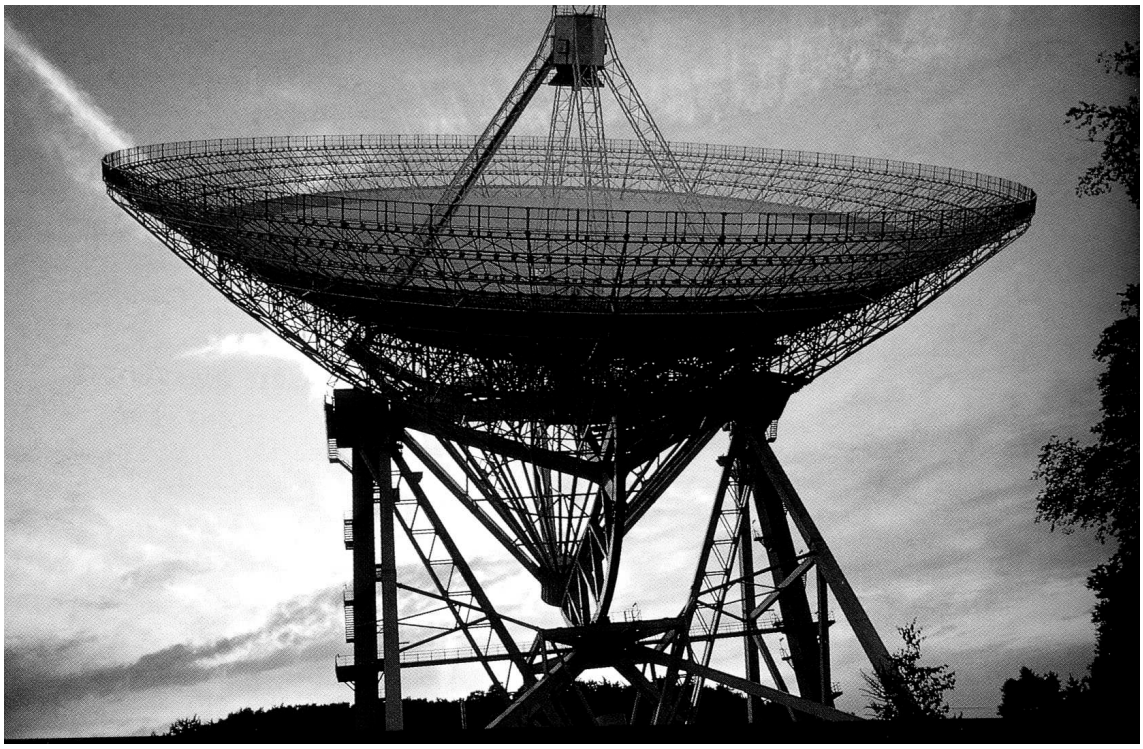


Figure 29.9:
Radio telescope Effelsberg, Krupp Industrietechnik, Duisburg und MAN,
Wave range 74 cm–0.4 cm, Reflector diameter 100 m
Surface accuracy 0.34 mm, Total weight 3,200 tons

MPI Radioastronomie Bonn

1960s and 1979s (cooled) parametric amplifiers. The next step was the MASER, then the amplifier based on GaAs-field effect transistors andsince the 1980s the HEMT with very low noise temperature of 18 K.

29.7 Conclusion

With the discovery of radio radiation from the Milky Way a second window on cosmic electromagnetic radiation was opened. The technical development – based on telescope, receiver and computer – made a quick progress: Very quickly the dimensions of radio telescopes were increased – a development in the direction of Big Science. Then the quality of the images was also increased. Reber could just measure the Sun with respect to the maximum resolution of 14 degrees. With modern radio telescopes one can measure very weak sources and resolve them in the range of arcsec. The 60s and beginning 70s were the golden age of radio astronomy with respect to the amount of discoveries of new objects. Within a few decades, radio astronomers have changed our view of the world with a number of spectacular discoveries: they proved the spiral structure of the

Milky Way and discovered radio galaxies, quasars, pulsars, extraterrestrial molecules and the cosmic background radiation. In no other field of astronomy so many spectacular discoveries were made; this is also to be seen that most of the nobel prizes in the field of astronomy are for discoveries in radio astronomy.

But it is very important to save these remarkable radio telescopes in order to document this development. Some were already distroyed like the 36-m-reflector in Berlin-Adlershof and others collapsed like Green Bank. Restoring such a parabolic dish is an enormous work and costs a lot of money – but should be done for several remaining important radio telescopes. Also the receivers, the amplifiers and computer systems should be collected in museums. For the Deutsches Museum we got a Würzburg Riese from Holland, the coordinate transformer from Stockert and some receiving horns from Effelsberg.

29.8 References

Aurass, Henry and Gottfried Mann: Solare Radioastronomie in Potsdam 1995. 100 Jahre nach der ersten Versuchen auf dem Telegraphenberg. In: *Die Sterne* **71** (1995), S. 213–220.

Becker, Friedrich and Wolfgang Priester: *Radioastronomie und extragalaktische Forschung in Bonn 1956–62.* Bonn 1963.

Blumtritt, Oskar; Petzold, Hartmut and William Aspray (ed.): *Tracking the History of Radar.* Piscataway, New Jersey 1994.

Brandt, Leo (ed.): *Einweihung des Radio Teleskops.* Dortmund: Bücherei der Funkortung 1956.

Hey, James Stanley: *The Evolution of Radio Astronomy.* Science History Publications 1973.

Krug, Erich: *Radioastronomie.* Stuttgart: Kosmos – Franckh'sche Verlagshandlung (Kosmos-Bibliothek; Band 233) 1962.

Mezger, Peter G. and Rolf Schwartz: Radioastronomie in Deutschland. In: *Sterne und Weltraum* **22** (1983), S. 398–403.

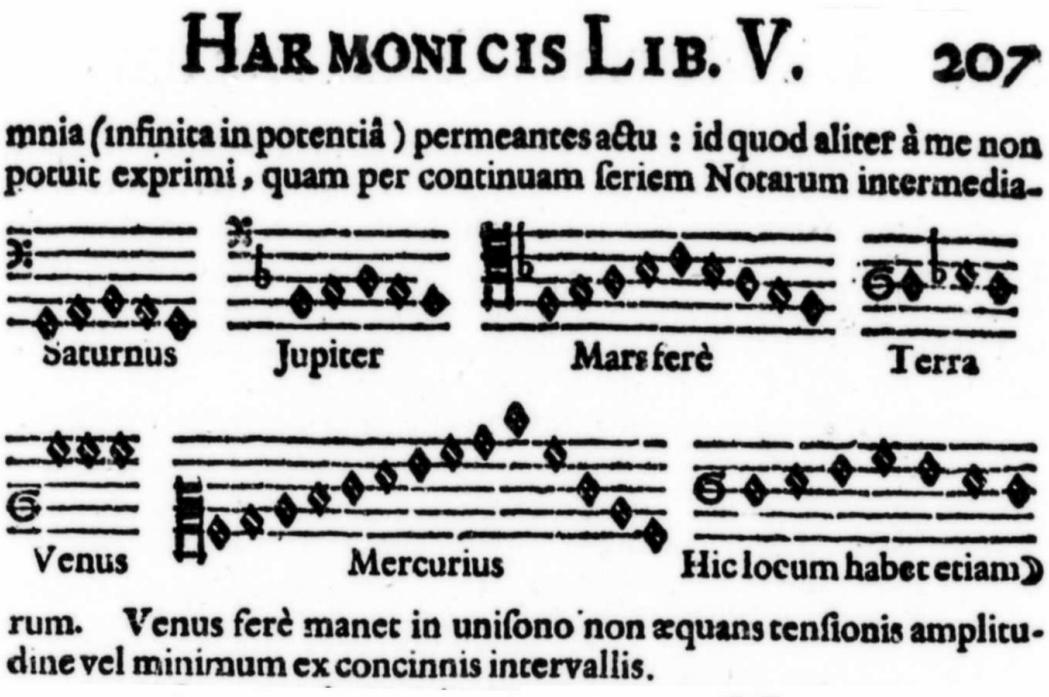


Figure 30.1:
The tunes of the planets from Kepler's *Harmonices Mundi Libri V*

Stellar music – detecting cosmic acoustic signals by electromagnetic waves

Zoltán Kolláth (Budapest, Hungary)

Abstract:

In radio broadcast, the modulation of radio waves by an acoustic signal is used to transmit music or speech. There exist natural processes that provide similar modulation of electromagnetic radiation. By detecting these signals and demodulating them, one can listen to cosmic acoustic signals. MHD waves in solar and planetary atmospheres provide such natural processes of radio emission. However, simple acoustic waves are also able to provide observable modulation of electromagnetic radiation, even in the optical range. Sounds can be detected from brightness variation of pulsating stars. Like earthquake vibrations, the acoustic oscillations of stars make it possible to perform seismic studies of the internal structure of heavenly bodies. We cannot hear these sounds directly, since sound does not travel in the vacuum of interstellar space, and the stellar humming is much deeper than the deepest bass tones humans can hear. By speeding up the observed light variation data, these distant infra-bass sounds become audible. The voices of stars are astonishingly interesting, providing a wide range of sounds from a simple buzz through colorful noises to strange, polyphonic booming. Going beyond just listening, these stellar audio sources can be treated as virtual musical instruments, giving a new sense to the Music of the Spheres.

30.1 Introduction

Hertz is well known for his conception of scientific theories as images. In *Astronomy and Astrophysics*, in most of the cases, our knowledge is based on image like observations. However these empirical data usually represents only a projection or some mapping of the real physical processes, which are hidden or obscured by other events and objects. One of the real art of astrophysics is to reconstruct the fundamental principles and processes of celestial bodies from the possible observations and provide the real "image" of theories of planets, stars, galaxies and their systems. Observed images are formed not only by

optical radiation of light but also by the whole range of wavelengths of electromagnetic radiation, from radio waves to gamma rays. In some cases even acoustic signals help us to map in astronomical scales. is generally accepted that before the period of recombination of H and He, when baryon-photon plasma filled the early Universe, acoustic waves were able to propagate in plasma. These acoustic waves caused the patterns found in both the Cosmic Microwave Background and in the large scale structures we can see today in the Universe. The structures that we see in microwave radio waves formed when the photons decoupled from the baryons, while the structure of galaxy clusters observable in optical range formed later through a complex dynamics. These different images of the Universe obtained in different wavelengths of electromagnetic radiations have a common origin in acoustic waves. The joint interpretation if these pictures help us to test fundamental questions like the concept of dark energy and nonzero cosmological constant.

Another analogy can be found in the stars. Imagine that by listening to a radio broadcast and then by analyzing the sound of an acoustic musical instrument, one tries to reconstruct the shape of a trumpet or a horn, which was used far away at the radio studio. If a perfect microphone was used during the recording and the whole information of the audio signal is transmitted by radio waves, then a complete audio 'fingerprint' of the musical instrument can be registered at the receiver. Then, at least in principle, information on the instrument itself can be deduced. Interestingly, the same idea is used in asteroseismology to determine the inner structure of stars. Just as in the acoustic musical instruments, sound waves can travel in the huge gas spheres of stars. For a certain group of the stars, there exists a generating mechanism by which these vibrations become permanent. This pulsation can be registered from Earth as a change in light. From the study of variable stars their inner sounds can be reconstructed. The use of seismology in geophysics or ultrasound in medical diagnostics demonstrates convincingly the theory that helps us to map the inside of the matter examined: If we pick up the waves traveling in it, and based on their characteristics we can form a picture of the medium they travel in. That is why the sounds of stars and the study of the processes in them are so important.

The study of the inner functioning of stars can reveal to us the future of our planet and the Sun. It is important that the study of certain variable stars can also help in specifying the distance scale used to measure the Universe. We cannot hear the sound of stars directly. While the sound does not travel in the interstellar space devoid of air, these sounds are much deeper than the perceptive range of a human ear. Speeding up the data obtained from observations and models can make these distant infra sounds audible. We can hear many interesting sounds from the simple humming sound to noise-like, strange, polyphonic booming. The beauty of the starry sky can perhaps be reflected in the music of the stars.

The miracles of the Universe, the beauty of the night sky have always inspired composers. The music of the spheres was one of the first concepts where mathematical considerations were applied to music. This impression is credited to Pythagoras like the connection of musical scale to the overtone structure of strings. In Ptolemy's cosmology, the stars and planets were attached to crystal spheres, which rotated slowly, in the heavens. As they moved, their rotation produced melodies and harmonies, which humans

might possibly learn to hear. Thus, the *Music of the Spheres* came into our language, first as an exact literal description of a physical process, and then, as a metaphor for something unutterably beautiful and perfect. Later, when Kepler found out that the motion of planets is not a combination of circular orbits on the crystal spheres, but single elliptical trajectories, he dropped the original idea of the music of the spheres. In the Keplerian cosmology there are no voices of crystal spheres, but the idea of connecting music to astronomy survived. He found another possible relation between astronomy and musical sequences: he used the changes in the velocity of the planets as a model for tunes.

Parallels between science and art have always helped in expressing new scientific ideas to non scientists. Projects based on such parallels also make a great possibility to narrow the hiatus between science and humanities. The connection of music and astronomy is straightforward after Ptolemy's and Kepler's ideas, but one can find the same interaction in different disciplines too: the cooperation of a musician and a biologist resulted in the 'sonification' of proteins,[1] which was fruitful for both fields and for the publicity of DNA science as well. Biologist Mary Anne Clark and algorithmic artist John Dunn are working at the molecular scale, using protein and gene sequence data from humans and other species as the basis for their songs. Pitches and instrumentation are chosen according to specific characteristics of the DNA data set – for example, one might choose to use cymbal every time one of the amino acids occurs in the protein sequence. In 1998, they published an audio CD titled 'Life Music', a collection of pieces based on data from a variety of proteins.

It is straightforward to turn the signal of radiotelescopes to audible sound. Fiorella Terenzi took one more step, to transfer astrophysical information into soundscapes and music[2] She introduced the concept of *'Acoustic Astronomy'*, an experiment that allows us to transform radiation from space into sound. This transition is based on the notational similarity between radiation and musical notes: both of them are decoded by intensity, frequency and temporal evolution.

These fusions between science and music also reflect a close relationship that has long been in existence. It is well known that human arts have always drawn inspiration from the natural world. Furthermore, there is an even more physical connection between musical instruments and some of the celestial bodies: the trapped acoustic waves in stars.

30.2 Parallels: Pulsating stars and musical instruments

Pulsating stars provide a novel parallel between astrophysics and musical acoustics. Contrary to previous ideas, when the connection was somehow arbitrary (planetary motion or radio signals), one can use the interior physics of stars as a starting point. The acoustic waves inside stars are analogous to the waves inside organ pipes or other

[1] Dunn and Clark 1999.

[2] More information is available from her homepage: `http://www.fiorella.com/`.

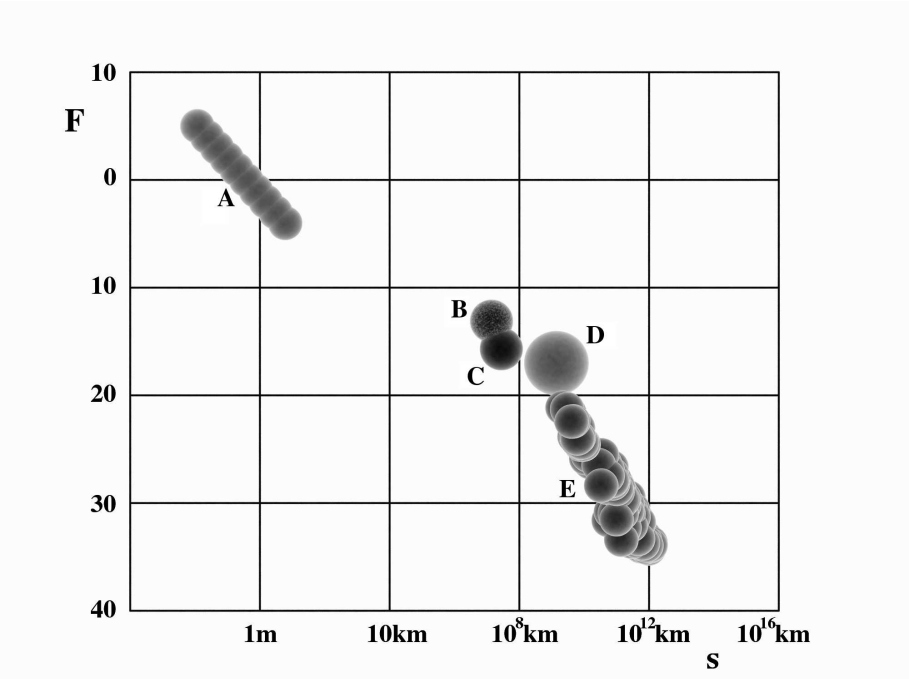


Figure 30.2:
The frequency versus size of different objects.
The pitch is displayed in logarithmic scale in octaves compared to organ pipes (A). B: Earthquakes; C: White dwarf pulsation, D: Solar oscillations; E: classical pulsating stars.

wind instruments. A significant difference between stars and organ pipes is their size. It results in very different frequencies. As seen from Figure 30.2, the stars sound in a very low pitch, 20–35 octaves below the sound of the normal organ pipes. Interestingly there is a close to linear dependence of the frequencies on the linear size in a wide range of objects when plotted in log-log scale.

Stars are complex objects with nuclear energy production, radiation transfer coupled with hydrodynamics, etc. It indicates that stellar oscillations are also multifaceted states of stars. To understand a collection of effects involved in stellar pulsation, we first have to simplify our models. In the simplest model, only very small oscillations are assumed. Even in this case, the possible frequencies of stellar overtones are given very precisely. If motion is allowed only in the radial direction, and only adiabatic variations are assumed, then in the linear limit (very small amplitude oscillations) the pulsation can be described with a relatively simple partial differential equation, which has a form very close to that of the Schrödinger equation. This simple model is mathematically and physically analogous to the physics of organ pipes or wind instruments.[3] The possible frequencies of a wind instrument depend on the variation of its cross-section along its

[3] Buchler, Yecko and Kolláth 1997.

length. An analogy which connects the equation of wind instruments to Schrödinger like equations is very well known in the study of wind instruments.[4] Then, based on the above analogies, for a given star the cross section of an equivalent wind instrument, a 'stellar trumpet' can be designed. Figure 30.3. shows a virtual stellar trumpet. We should emphasize that the analogy is not only a mathematical one but also a physical one, since acoustic waves have the same properties for both systems.

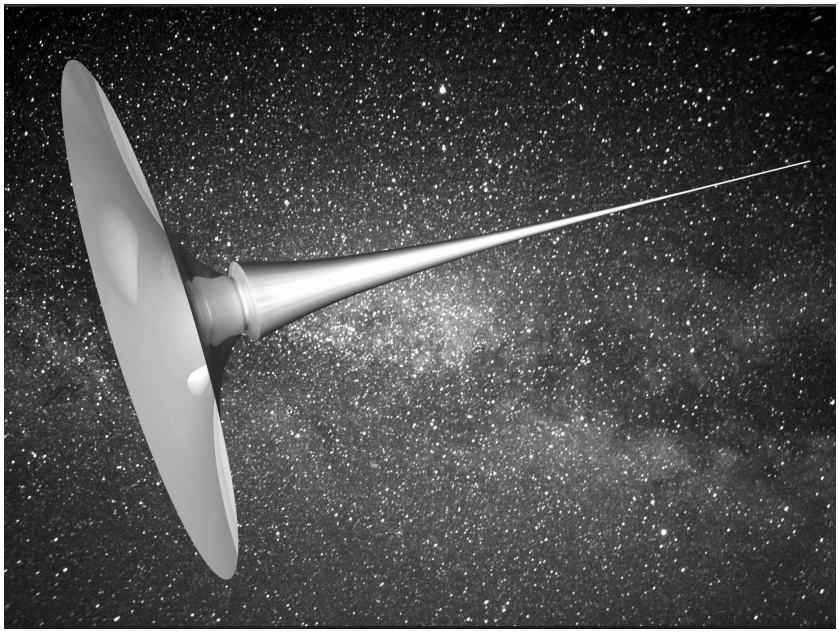


Figure 30.3:
A trumpet shaped based on the structure of a Cepheid –
a concept to create a virtual orchestra of billions of stars.

The major difference between the stellar trumpet and a real trumpet is the sound generation mechanism. While the valve mechanism of the lips is extremely important for the sound generation and the quality of sound in wind instruments, we use only the characteristics of the acoustic cavity (resonator) of the stellar trumpet. In stars the sound generation mechanism is located inside the cavity (due to interaction of the waves and the radiation of energy).

Sounds produced by modern musical instruments – guitars, for example – consist of multiple tones arranged in specific ratios, and these amalgamations give each instrument its distinct musical character. But the tones from stars don't have any of these familiar ratios, so virtual musical instruments based on stars have a unique, unusual sound. Using numerical models of pulsating stars and sound synthesis, stellar music can be composed with physical and logical fidelity to the underlying relations.[5] The adoption

[4] Benade 1973.
[5] Kolláth and Keuler 2006.

of stellar sounds to construct musical structures and to create musical composition poses lots of questions, and aesthetically, they provide a new challenge. The result is musical compositions that are appropriately alien and eerie-sounding. The structure of the overtones was used not only for specifying the timbre of the sound, but the interplay of different periodicities is also employed to sculpture the temporal structure of our compositions.

30.3 Virtual stellar musical instruments

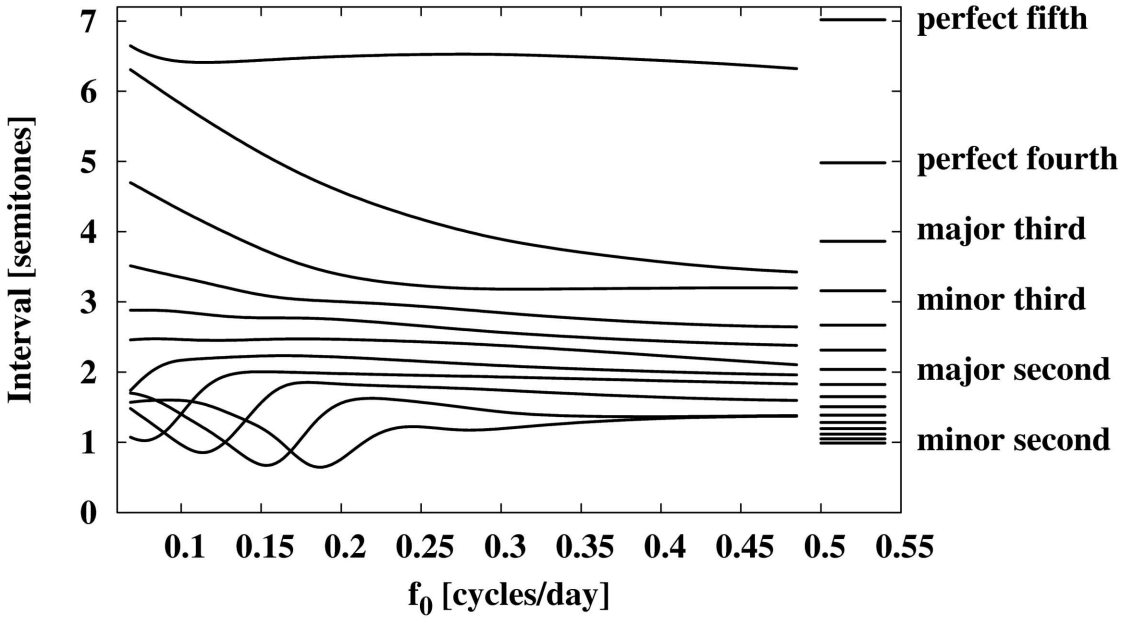


Figure 30.4:
The "musical" interval between the consecutive overtones of a Cepheid model sequence. The horizontal lines at the right side of the plot represent the same ratios of the overtones of an organ pipe, e. g. the integer ratios. The top curves display the interval between the lower overtones.

One of the main stellar instruments used in the composition 'Stellar Music No 1' was based on a series of numerical models. While astronomers can observe only few selected partial tones in real stars, computer models of the stars give the full details of the spectrum. These invisible overtones are also integral parts of stellar acoustics, although no relative power or amplitude can be assigned to them. It gives some freedom to the composer while using the instrument. For harmonic spectra, the frequency ratio of the consecutive overtones monotonically decreases with the order of the overtone. However, there is a feature which distorts the frequency structure of the overtones of the stars. Figure 30.4. displays the frequency ratios of the consecutive eigenmodes in a

model sequence. If these vibrations are transposed to the audible range with the same ratio, then the sounds with different pitches have different timbre. As seen in this figure, the frequency interval of the consecutive partial tones decreases with the order of the overtone.

Accidentally, the pitch interval in some of the models is close to well tempered musical intervals, but for the others it can be definitely different. These changes in the structure of the overtones are well represented by avoided crossings of the eigenvalues. The reason for this feature is that in addition to the normal overtones in the star, there is a so called strange mode overtone, too. As this strange mode moves through the spectrum with the evolving star, it produces the above mentioned variations in the overtones. We note that by modeling stellar pulsations an unlimited variation of acoustic spectra can be gained – we have limited ourselves for narrow range of possibilities.

The sound of the above described special shaped trumpet is only one of the acoustic sculptures that can be designed based on stellar physics. Furthermore the frequency spectrum of stellar models misses an important characteristic of real musical sounds: the temporal dynamics of the sound, e. g. the envelope. In real acoustic musical instruments, there is a dissipation source, which makes the sound decay after the excitation ceased. Similar dissipation mechanism exists for stars, too. Then, the lifetime of oscillation is given by natural processes. The decay rates of different oscillation modes are different. This effect is ordinary for musical instruments, too (and the timbre changes during the release stage of the sound). There is, however, a significant difference between stars and musical instruments: stellar acoustics allow not only for decay but also for a self excitation of the oscillations. This mechanism works only in special groups of the stars, inside the instability strips on the Hertzsprung-Russell diagram. These unstable stars, the pulsating variable stars, manifest their acoustic waves in their observable light variations. If all the modes are decaying (outside the instability strip), then in principle, no visible vibrations can be found, there is no possible way to detect these sounds in real stars. However theoretical modeling of stellar pulsation helps us again: linear stability analysis of static stellar models provides the decay rates. Then by a virtual initialization of the sound (a gigantic drumstick kicks the star) the bell like sound of these stars can be calculated. Perhaps there are natural processes – e. g. a mixing event in the core of the star – that can play the role of the clapper of the bell, and high precision observations can prove the real existence of these decaying stellar sounds in the future.

Not only theoretical models, but real observations of pulsating variable stars can be used to construct interesting sound effects. We selected somehow randomly several stars with different complexity of their light variation and so in their sounds. In Table 30.1 these stars are listed with their main characteristics.[6]

In the two rapidly oscillating (ro) Ap stars, HR 1217 and HR 3831, magnetic field has a strong effect, producing splitting of the frequencies. The resulting close pitches

[6] HR 1217: Kurtz et al. 2002. HR 3831: Baldry, Kurtz and Bedding 1998. GD 358: Kepler et al. 2003. *Theta* Tucanae: Paparó et al. 1996. R Scuti: Buchler, Kolláth, Serre and Mattei 1996. AC Herculis: Kolláth, Buchler, Serre and Mattei 1998.

Table 30.1: Stars used as mock-ups for sound sculptures in our compositions

Star	Variable typ	Sound character
HR 1217	roAp star	Amplitude modulation by beats
HR 3831	roAp star	Amplitude modulation by beats
GD 358	White dwarf	Multiperiodic
theta Tucanae	Delta Scuti	Multiperiodic
Solar oscillations	Solar type	Stochastic
R Scuti	RV Tauri	Chaotic
AC Herculis	RV Tauri	Chaotic

cause beating i. e. amplitude modulation. This effect makes the sound of these stars to be pleasant – they can be used even to orchestrate classical musical pieces.

In contrary, the multiperiodic stars have lots of frequencies with non-musical intervals. All the stars with this type of character have their unique sound. GD 358 is a white dwarf star with a very dense frequency spectrum: Three dozens of individual frequencies are compressed into a one octave wide interval of the spectrum and some other partial tones at different "registers". The other multiperiodic star, Θ Tucanae, a δ Scuti type star has 13 observable pulsation modes.

The nearest star, our Sun does not have self excited modes; however the turbulent motion provides continuous energy for very small amplitude vibrations around 5 minutes of periodicity. The song of our Sun sounds rather a color noise than a chord. To make musically acceptable sounds, we selected groups of pitches on a physical ground.

Some of the stars have noise like sounds, as our Sun, but the underlying physical mechanism is very different from the stochastic excitation of solar oscillations. The reason for erratic pulsation is a chaotic dynamics of vibrations. These processes give additional colors to stellar voices. Our experiments were based on two stars: R Scuti and AC Herculis. These two stars oscillate with long periods (30 and 70 days) and do not repeat their cycles exactly. Their variations look more or less erratic, but nonlinear, chaotic dynamics determines their cycles. Of the two stars, AC Herculis has more or less regular variations, while the sound of R Scuti is a colored noise. We used not only the observations as wave samples but also the output of mathematical models, constructed from real light variations.

Unfortunately it is not possible to give sound demonstrations in a book, so the graphical representations of the sound waves are used to demonstrate the different complexity of stellar sounds. Instead of wave curves (e. g. pressure vs. time) Lissajou patterns are used in Figure 30.5. These plots show well the order and disorder of different stellar variations. The RR Lyrae type curves represent simple mono-, bi-periodic and amplitude modulated pulsations, while the star not listed in Table 30.1. (AC Anromedae) is a star with a "chord" of three different pitches.

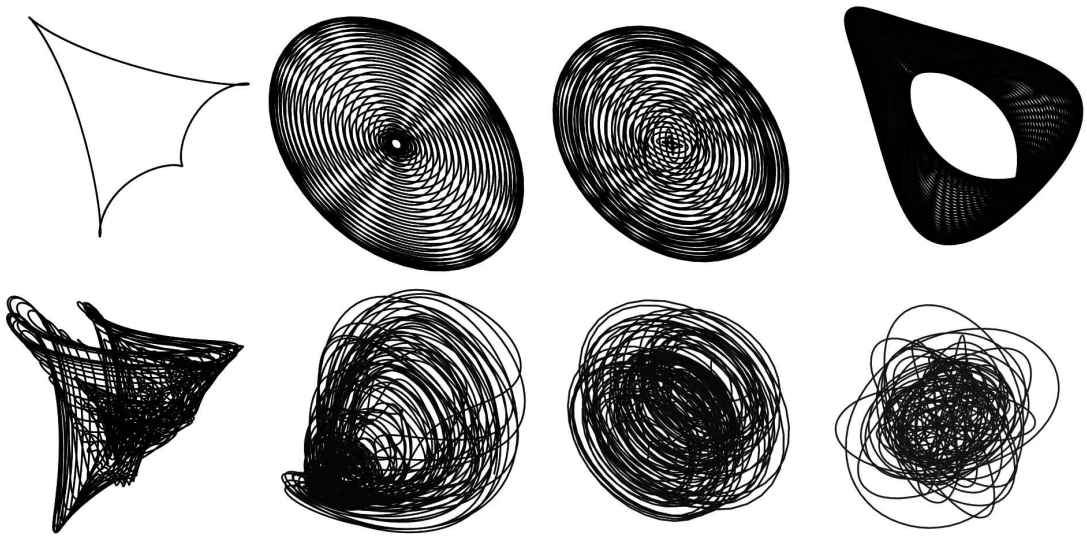


Figure 30.5:
Graphical representation of stellar sounds.
From top left to bottom right: RR Lyrae model; typical Blazhko RR Lyrae; HR 1217; Double mode RR Lyrae model; AC Andromedae; R Scuti; Θ Tucanae; Solar oscillations.

30.4 Conclusion

A co-operation among artists and scientists, especially among musicians and stellar astrophysicists can be profitable. Up to the publication of this paper, three musical pieces where composed by Jen? Keuler and the author of this paper: *'Stellar Music No 1'*, *'Stellar Music No 2'* and *'Stellar Sound Spaces'*. These compositions can be downloaded from the *Stellar Music Project* homepage[7] The sound examples of stellar processes and the compositions have already been in use in public relation activities. They were presented on Hungarian television program *Encompass*,[8] in BBC program *Sky at Night* (December 2006), and in lots of public talks all around the world.

A very interesting interaction between science and art was a fine art exhibition of Magda Csutak (Vienna), tilted *Identical-Substantive (Gleich-Individuell)* at the Museum Kiscell-Municipal Art Gallery of Budapest in summer 2006. In the picture constructions of Magda Csuta the material itself plays a dominant role. She nowadays applies another mystic topic: zero. Zero as concrete and abstract, different and secret and the model of transformation. The author of this article crated the background sounds and two films displayed at the opposite sides of the ruinous nave of the museum. One of the

[7] `http://www.konkoly.hu/stellarmusic/`.
[8] `http://www.mindentudas.hu/kollath`.

animations is based on astronomy, while the other one visualized the structure of matter down to atomic scales. The stellar sound created a very nice ambient background for the fine art pieces which were displayed between the animation screens at the opposite boundaries of our world: the microcosm and macrocosm. This cooperation between the artist and the scientist could not be possible without the concept of stellar music.

An astronomer interested in music can search for newer and newer interesting type of stellar sounds. The idea of stellar instruments can even encourage experimentation on planning new acoustic instruments. Hopefully the Stellar Music Project can be extended with more novel astrophysical ingredients and new musical compositions. It can help in to popularize astrophysics and to build bridges between different disciplines.

Acknowledgements

The author is indebted to JenIlHo Keluler and Magda Csutak for their generous help in finding bridges between art an science.

30.5 References

Baldry, I. K.; Kurtz, D. W. and T. R. Bedding: Confirmation of the oblique pulsator model for the rapidly oscillating AP star HR 3831. In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **300** (1998), p. L39–L42.

Benade, A. H.: The Physics of Brasses. In: *Scientific American* **229** (1973), p. 24–35.

Buchler, J. R.; Kolláth, Z.; Serre, T. and J. Mattei: Nonlinear Analysis of the Light Curve of the Variable Star R Scuti. In: *Astrophysical Journal* **462** (1996), p. 489–501.

Buchler, J. R.; Yecko, P. A. and Z. Kolláth: The nature of strange modes in classical variable stars. In: *Astronomy & Astrophysics* **326** (1997), p. 669–681.

Dunn, J. and M. A. Clark: Life Music: The Sonification of Proteins. In: *Leonardo* **32** (1999), p. 25–32.

Kolláth, Z.; Buchler, J. R.; Serre, T. and J. Mattei: Analysis of the irregular pulsations of AC Herculis. In: *Astronomy and Astrophysics* **329** (1998), p. 147–154.

Kolláth, Z. and J. Keuler: Stellar acoustics as input for music composition. In: *Musicae Scientiae, Special Issue* (2005–2006), p. 161–183.

Kepler, S. O.; Nather, R. E.; Winget, D. E. et al.: The everchanging pulsating white dwarf GD358. In: *Astronomy and Astrophysics* **401** (2003), p. 639–654.

Kurtz, D. W.; Kawaler, S. D.; Riddle, R. L. et al.: Discovery of the 'missing' mode in HR 1217 by the Whole Earth Telescope. In: *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **330** (2002), p. L57–L61.

Paparó, M.; Sterken, Chris; Spoon, H. W. W. and P. V. Birch: Complex behaviour of the δ Scuti star Θ Tucanae. I. Frequencies in the light variation. In: *Astronomy and Astrophysics* **315** (1996), p. 400–410.

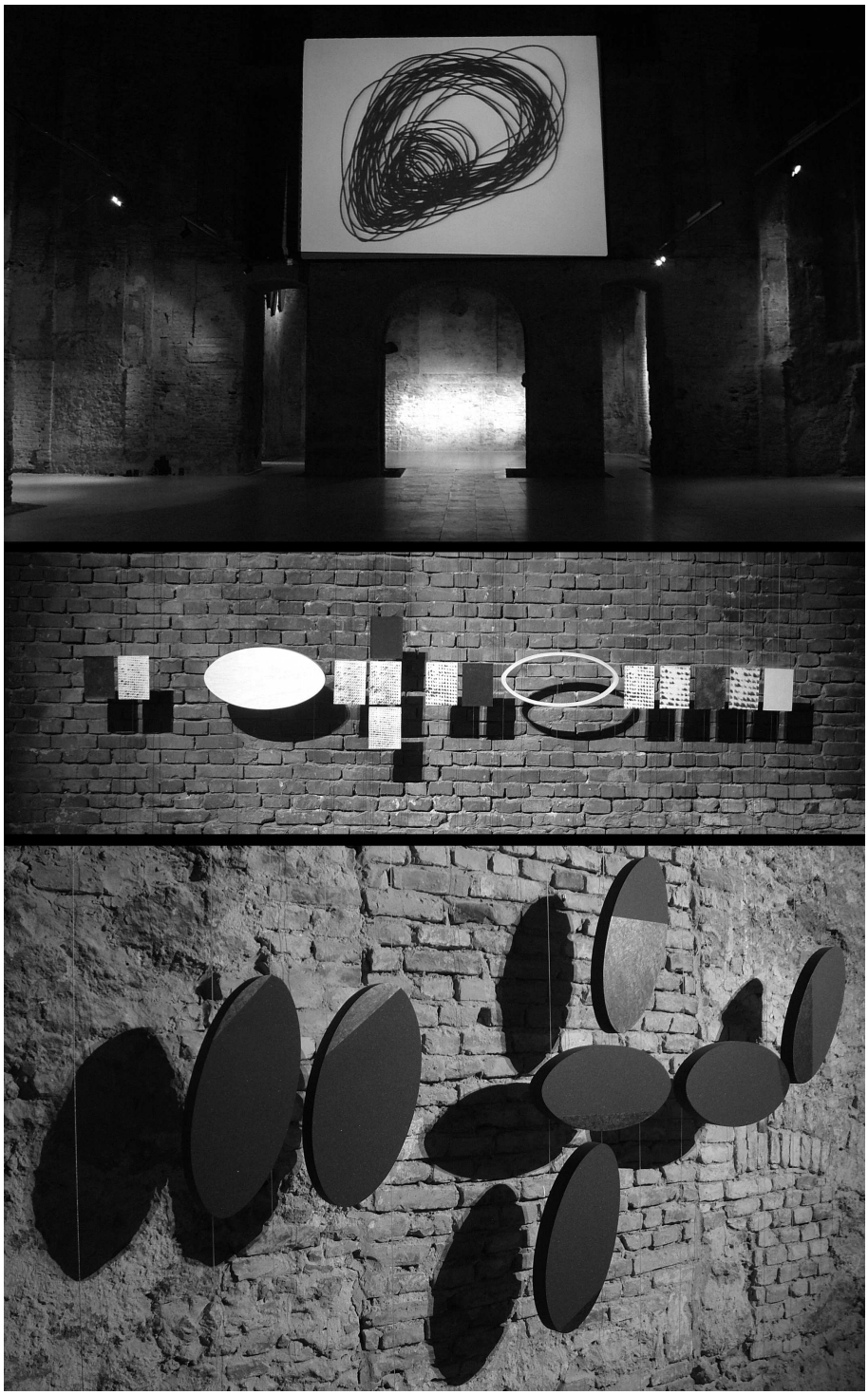


Figure 30.6:
The exhibition in the nave of Museum Kiscell. The room of the church with a frame from the astronomical animation (graphical representation of R Scuti's sound), and tow pieces of art by Magda Csutak.

Figure 30.7:
Electronic tube, Siemens

DEVELOPMENT OF COMMUNICATION TECHNOLOGY: TUBE – DIGITAL

Figure 31.1:
Thereminvox von Leon Theremin (1896–1993)

Charles Richard Lester: http://www.137.com/theremin/

Das Thereminvox. Zur wechselvollen Karriere eines elektronischen Musikinstruments

Hans-Joachim Braun (Hamburg)

Abstract: Thereminvox: The Career of a Unique Electronic Musical Instrument

The thereminvox or aetherophon, designed and built by the Russian physicist and cellist Lev Termen in 1920, created quite a sensation at the time. The audience found the fact that the instrument produced sound <from the air> fascinating. But because the instrument is very difficult to play well and the sound can be somewhat enervating the instrument's career was not as successful as his inventor had wished. However, in recent years the instrument has become more popular again and is even used in pop music and in jazz. The paper will investigate the technological and aesthetic aspects of the theremin's career and will illustrate this with audio examples.

Das Thereminvox scheint wieder „in" zu sein. Seit einiger Zeit finden in verschiedenen Ländern Europas und in den Vereinigten Staaten Thereminkonzerte statt, die auf einiges Interesse stoßen. Dabei wird das Theremin (oder Thereminvox, früher auch Ätherophon genannt) häufig nicht nur als Soloinstrument, sondern in Kombination mit anderen, nicht-elektronischen Musikinstrumenten eingesetzt.

Im Folgenden wird es darum gehen, herauszuarbeiten, wieso das Theremin, das in den ersten Jahren nach seiner Erfindung 1920 großes Aufsehen erregte, bald darauf aber nur noch eine geringe Rolle spielte, sich seit den frühen 1990er Jahren wieder einer gesteigerten Aufmerksamkeit erfreut. Kann es sogar soweit kommen, dass das Theremin bald ein „Masseninstrument" wird? Diese Fragen werden im Vordergrund der folgenden Ausführungen stehen.[1]

[1] Eine ausführliche, stark modifizierte und theoretischer ausgerichtete Fassung wird erscheinen in: Bijsterveld/Dijck 2008.

Doch zunächst: Was ist ein Theremin?
Das Theremin ist das einzige Musikinstrument, das berührungsfrei gespielt wird. Dies geschieht durch die Abstandsänderung der Hände zu zwei Antennen, indem die eine Hand die Tonhöhe, die andere die Lautstärke verändert. Das Gerät arbeitet nach dem Überlagerungsprinzip: Zwei Hochfrequenzgeneratoren, der eine mit fester, der andere mit variabler Frequenz, werden durch einen Differentialmischer miteinander verbunden. Die Frequenz des zweiten Generators wird durch Annähern oder Wegbewegen der Hand verändert. Die Differenzialfrequenz, die sich im niederfrequenten Bereich befindet, kann nun durch Verstärker und Lautsprecher hörbar gemacht werden.

Bald nach seiner Erfindung durch den russischen Physiker Lev Termen schien der Erfolg dieses neuen Musikinstruments gesichert zu sein. Sogar V. I. Lenin soll sich für das Instrument begeistert und für dessen Verbreitung eingesetzt haben, eine durchaus naheliegende Vermutung, passte es doch hervorragend zu seiner Aufforderung, die junge Sowjetunion möglichst schnell zu elektrifizieren. Vor allem in westlichen Metropolen stießen Thereminkonzerte auf große Begeisterung und Komponisten wie Henry Cowell, Edgard Varèse, Percy Grainger und Boleslav Martinů schrieben Stücke für dieses Instrument. Sie alle wollten die Beschränkungen der herkömmlichen Musikinstrumente überwinden und hielten das Thereminvox für ein geeignetes Medium. Teile des Konzertpublikums stimmten zu. Thereminvirtuosinnnen wie Clara Rockmore und Lucie Bigelow-Rosen faszinierten das Publikum. Bei einem Konzert in der Pariser Oper im Jahre 1927 mußte die Polizei eingreifen, um Ausschreitungen derjenigen Teile des Publikums zu vermeiden, denen es nicht gelungen war, eine Eintrittskarte zu ergattern.[2] Auch Lucie Bigelow-Rosens Auftritt in München 1936 fand großes Lob. Sogar der „Völkische Beobachter“, üblicherweise nicht unbedingt ein Forum für das Lob neuer Musikformen, war voller Begeisterung.[3]

Dass Lucie Bigelow-Rosen 1936 in Deutschland auftreten konnte, war alles andere als eine Selbstverständlichkeit. Zum einen war sie die Gattin des jüdischen Anwalts und Bankiers Walter Rosen, zum anderen handelte es sich beim Theremin, nach NS-Terminologie, um ein „jüdisches Instrument“, lag doch dessen Vertrieb in Deutschland in den Händen der „jüdischen“ Firma M. J. Goldberg und Söhne. Jörg Mager, ein Erfinder elektroakustischer Musikinstrumente, der sich mit seinem „Sphärophon“ als Rivale des Theremins sah, wurde nicht müde, den Gebrauch des „sowjetisch-jüdischen Theremin-Goldberg-Instruments“ in Deutschland anzuprangern.[4]

Doch es gab neben derartigen üblen Ausfällen noch weitere Vorbehalte gegenüber elektroakustischen Musikinstrumenten im allgemeinen und dem Thereminvox im besonderen. Viele Musiker und Musikkritiker der 1920er Jahre bemängelten den „künstlichen“ und „unnatürlichen“ Klang dieser Instrumente und stellten ihnen den „natürlichen“ Klang herkömmlicher Musikinstrumente gegenüber. Solch kritische Äußerungen haben verschiedene Ursprünge. An dem Klang dieser Instrumente gab es in der Tat einiges auszusetzen. Weiterhin lag den Gegnern dieser neuen Musikkultur daran, Vorstöße ei-

[2] Rockmore 1987, 7.
[3] Donhauser 2007, 154.
[4] Donhauser 2007, 212.

ner technologieinspirierten Ästhetik, welche die herkömmliche Musikästhetik in Frage stellte, abzuwehren. Zudem sahen sie die Gefahr, dass die neuen Musikinstrumente dazu verwendet würden, die herkömmlichen Musikinstrumente zu ersetzen und die Musiker arbeitslos zu machen, eine Überlegung, die von Anhängern „elektrifizierter Musik" durchaus offensiv vertreten wurde.[5] Außerdem konnten solche Instrumente, insbesondere das Theremin, eine Forderung nicht erfüllen, die verschiedene Komponisten des 20. Jahrhunderts, insbesondere Paul Hindemith, an die Musik stellten: Komponisten sollten sich nicht zu schade sein, „Gebrauchsmusik" zu komponieren, die zu Hause gespielt werden konnte. Bei der „Gebrauchsmusik" handelte es sich um eine Gegenposition zur ausschließlich ästhetisch bedingten absoluten Musik; sie zielte auf eine unmittelbare Einbindung der Musik in das Leben ab.[6]

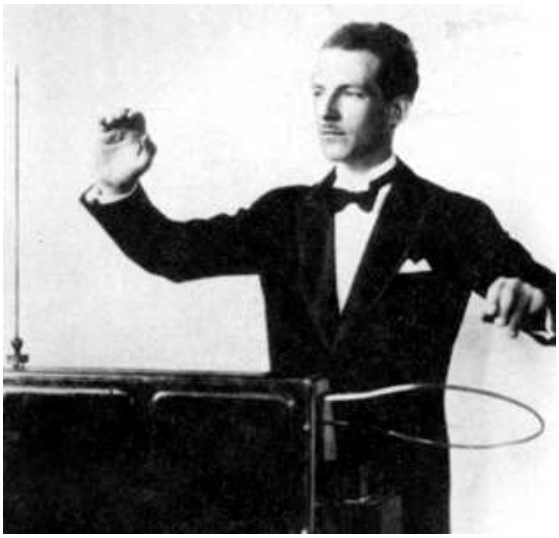


Abbildung 31.2:
Leon Theremin (1896–1993)
und Thereminvox (Elektronik sichtbar)

Firma Big Briar: `http://www.colander.org/gallimaufry/Instruments.html`
Antique Radio Classified: `http://www.antiqueradio.com/Aug06_McKeown_Theremin.html`

Ein elektroakustisches Musikinstrument wie das Theremin, das äußerst schwierig zu spielen war, eignete sich mithin kaum für Zwecke der Gebrauchsmusik. Darüber hinaus hatten viele Musikkritiker der 1920er und 1930er Jahre erhebliche Vorbehalte gegenüber dem musikalischen Virtuosentum, was sich nicht zuletzt in der elektroakustischen Musik manifestierte. Dieses stünde, so das Argument, für bloße Oberflächlichkeit und sei nicht in der Lage, Gefühle auszudrücken.[7] Sogar Hans-Heinz Stuckenschmidt, ein

[5] Hans-Joachim Braun (ed.): *Music and Technology in the 20th Century* Baltimore and London: Johns Hopkins U.P. 2002, Einleitung.
[6] Schubert 1981.
[7] Gronostay 1932, 808ff. Siehe Donhauser 2007, 225.

Musikwissenschaftler, der sich gegenüber neuen Strömungen in der Musik stets aufgeschlossen gezeigt hatte, äußerte starke Vorbehalte gegenüber den elektroakustischen Musikinstrumenten. So kritisierte er bei dem von Oskar Sala gespielten „Trautonium" den „künstlichen" Klang und das „Homunkulische" dieses Instrumentes.[8] Was die klanglichen Möglichkeiten angeht, so bewegte sich das Theremin zwischen alten und neuen Klangvorstellungen, zwischen dem, was herkömmliche Musikinstrumente wie die Violine oder das Cello, aber auch die menschliche Stimme boten und den Manifestationen der Elektronik, die manche faszinierte, andere aber mit Mißbehagen erfüllte. Überhaupt fiel es dem Theremin und seinen Virtuosinnen und Virtuosen schon immer schwer, „auf eigenen Füßen zu stehen". Es war immer für überraschende Klangeffekte gut; nachdem aber das Überraschungsmoment abgeklungen war, wurde der Thereminklang bei längerem Zuhören oft als ennervierend empfunden. Auch hinsichtlich der Programme vieler Thereminkonzerte der 1920er und 1930er Jahre wurden diejenigen, die vom Repertoire her neues erwarteten, häufig enttäuscht. Oft standen romantische Stücke im Vordergrund, etwa Tschaikowskys Berceuse oder Saint-Saëns „Der Schwan". Insofern ist es nicht verwunderlich, dass das Theremin, nach anfänglichen bemerkenswerten Erfolgen, bald nur noch ein ausgesprochenes Nischendasein führte.

Dies lag vor allem an zwei Gründen:

- das Instrument ist äußerst schwer zu spielen
- seine Klangmöglichkeiten sind eng begrenzt. Wenn man es für ein romantisches Repertoire des 19. Jahrhunderts einsetzen will, warum greift man dann nicht gleich auf die Violine, das Cello oder die menschliche Stimme zurück?

Darüber hinaus gelang es – bis auf wenige Ausnahmen – nicht, das Theremin überzeugend mit der Ästhetik der neuen Musik zu verbinden. Wo dies erfolgte, blieb es auf wenige Avantgardezirkel beschränkt.

Seit den 1940er Jahren erregte das Theremin, wenn es denn überhaupt eingesetzt wurde, Aufsehen in der Filmmusik. Hier sind vor allem Komponisten wie Miklós Rózsa, Bernhard Hermann, Max Steiner oder Billy Wilder und Filme wie Alfred Hitchcock's „Spellbound" (1945) oder Billy Wilder's „The Lost Weekend" (1945) zu nennen. In der Popmusik wurden vorwiegend Variationen des Theremins eingesetzt, die „Beach Boys" landeten 1966 einen Hit mit „Good Vibrations", in dem ein Tannerin, ein dem Theremin verwandtes Instrument, das allerdings nicht berührungsfrei gespielt wird, zum Einsatz kam. Außer für derartige Zwecke, zu denen auch Science Fiction Filme gehörten und die außergewöhnliche psychische oder übernatürliche Zustände ausdrücken sollten, wurde das Theremin kaum verwendet.

Doch hat sich seit den frühen 1990er Jahren das Interesse am Thereminspiel verstärkt. Ein wesentlicher Grund liegt darin, dass 1992 am Moskauer Konservatorium das Theremin-Zentrum, ein elektronisches Musikstudio, gegründet wurde, das sich besonders mit dem Theremin beschäftigt. 1996 wurde die einhundertste Wiederkehr des Geburtstages von Lev Termen mit vielen Theremin Konzerten und Tagungen in verschiedenen russischen Städten begangen. Zoia Ranevskaya-Dugina, eine Schülerin Termens, begann

[8] Stuckenschmidt (1948), 250. Siehe Donhauser 2007, 225.

bald darauf, das Thereminspiel regelmäßig zu unterrichten. Auch im Westen nahm das Interesse an dem Instrument zu. Robert Moog, Erfinder des berühmten Moog Synthesizers, vertrieb einen Theremin Baukasten, mit dem man ohne Mühe ein einfaches Theremin bauen konnte. Er baute aber auch größere anspruchsvollere Geräte, die sich für Konzertdarbietungen eigneten. Auch Steven M. Martin preisgekrönter Dokumentarfilm „Theremin. An Electronic Odyssey“ (1993) trug maßgeblich dazu bei, das Interesse an dem Erfinder und seinem Instrument zu steigern.

Neben Konzertaufführungen sind vor allem Tonaufnahmen geeignet, Interesse zu wecken und zu verbreiten. In diesem Zusammenhang waren und sind besonders die Thereminvirtuosinnen Lydia Kavina und Barbara Buchholz zu nennen. 1999 brachte Lydia Kavina, eine Großnichte Lev Termens, die CD „Music from the Ether. Original Works for Theremin“ heraus.[9] Neben Stücken von Komponisten der Kunstmusik der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wie Bohuslav Martinů, Percy Grainger und Joseph Schillinger enthält diese CD auch Orchesterstücke von Komponisten des späten 20. Jahrhunderts wie Jorge Antunes und Vladimir Komarov; Lydia Kavina selbst steuerte zwei Stücke bei. In verschiedenen Kompositionen für das Theremin wird dieses häufig in Verbindung mit anderen Musikinstrumenten, aber auch mit der menschlichen Stimme verwendet. In Lydia Kavinas dreisätziger „Suite für Theremin und Klavier“ von 1989 tritt die große Spannweite des Instruments vor allem in Bezug auf Tonhöhe und Dynamik zum Vorschein, aber auch zahlreiche Glissando-Effekte werden wirkungsvoll eingesetzt. Das Stück „In Whims of the Wind“ komponierte sie 1994 für Thereminvox, Klavier und den Koloratursopran der Sängerin Elizabeth Parcells; verband dabei die Stimme mit dem Sinuskurvenklang des Theremins. Dabei zeigt sich der Kontrast zwischen dem Theremin und der Stimme besonders wirkungsvoll in den extrem hohen und tiefen Registern des Instruments.[10]

2004 veröffentlichte die deutsche Thereminvirtuosin Barbara Buchholz, die bei Lydia Kavina studiert hatte, ihre CD „theremin: Russia with love“.[11] Die CD enthält Avantgardemusik, populäre Musik und jazzinspirierte Stücke und überschreitet mühelos die Grenzen zwischen „Kunstmusik“ und „populärer Musik“, wobei eine solche Grenzziehung natürlich problematisch ist. Dabei spielt Barbara Buchholz ein Midi-Theremin, bei dem sie, mit Midi einen Sampler ansteuernd, durch Handbewegungen Loops und Samples auslöst.

2006 brachten Barbara Buchholz und Lydia Kavina gemeinsam die CD „touch! don't touch, music for the theremin“ heraus.[12] Diese Produktion wurde von der Kunststiftung NRW, dem Deutschen Musikrat und dem Deutschlandfunk unterstützt und diente nicht zuletzt dazu, dem Theremin eine größere Aufmerksamkeit bei den zeitgenössischen Komponistinnen und Komponisten zu verschaffen und diese möglichst zu veranlassen, Stücke dafür zu schreiben. Wie der Titel bereits andeutet, geht es darum, den elektronischen Klang des Theremins mit dem akustischer Musikinstrumente zu kombinieren. So verbindet der Komponist Moritz Eggert in seinem Stück „The Son of the Daughter of Dracula versus the Incredible Frankenstein Monster (From Outer Space)“ zwei Theremine, Vio-

[9] Kavina 1999.
[10] Kavina, Beiheft.
[11] Buchholz, Barbara (ed.): 2004.
[12] Buchholz / Kavina 2006, Beihefttext von Rolf W. Stoll, 17.

line, Violoncello, Klavier und Schlagzeug. Es ertönen Glissandi und das psychedelische Zittern der Theremine sowie Paukendonnern und kraftvolle Streichertremoli, die von verschiedenen Samplereinsätzen ergänzt werden.[13]

Caspar Johannes Walters „Vakuum-Halluzinationen für zwei Theremine, Violine und Violoncello“ ist ein „Glissando-Stück“, das die stufenlose Spielmöglichkeit des Theremins betont. Hier werden die fein nuancierten Klangmöglichkeiten des Theremins, die im Gegensatz zu früheren, häufig klischeehaften Einsätzen dieses Instruments stehen, deutlich. In Nicolaus Richter de Vroes Komposition „Thereminskie ostrova (Theremin-Inseln) für zwei Theremine, Klavier und Schlagzeug“ geht es weniger um Musik und Töne als um Gesten und In-Szene-Setzen. Für dieses Werk mussten Barbara Buchholz und Lydia Kavina neue Spieltechniken erlernen, indem sie mit ihren Händen bestimmte festgelegte Zeichen nachahmten. Bei diesem Stück kommt der theatralische Effekt des Thereminspiels zur vollen Geltung.[14]

Wie bereits angedeutet, liegt der Hauptgrund, warum es so wenig gute Theremin-Spielerinnen und Spieler gibt, darin, dass das Instrument schwer zu spielen ist. Da es „im Raum“ gespielt werden muß, fehlen Orientierungshilfen wie etwa Klaviatur oder Griffbrett. Ein absolutes Gehör hilft hierbei erheblich, stellt aber kein unbedingtes Erfordernis dar. Das Theremin reagiert auf jede Körperbewegung, aber auch auf die von Personen, welche sich in der Nähe befinden. Von den Spielerinnen und Spielern wird ein Höchstmaß an Disziplin und Konzentration gefordert. Auch das Erlernen des Thereminspiels bereitet große Probleme, gibt es doch keine einheitliche Spieltechnik. Fast alle Theremin-Spielerinnen und -spieler haben ihre eigenen Spieltechniken entwickelt. Ein erstes Lehrbuch, das kürzlich von Carolina Eyck publiziert wurde, wird der Verbreitung des Thereminspiels vermutlich gute Dienste leisten.[15]

Woran liegt es nun, dass sich das Theremin, trotz der angesprochenen Probleme, seit einiger Zeit wieder einer, wenn auch begrenzten, Aufmerksamkeit erfreut? Ein wesentlicher Grund scheint das performative Element beim Thereminspielen zu sein, das Kernbestandteil auch anderer Kunstformen wie der Aktionskunst, des Happenings und des experimentellen Theaters ist. Zwar gibt es manche dieser Kunstformen schon seit den 1960er Jahren, sie gewinnen aber immer stärker an Einfluss. Performancekünstlerinnen und -künstler wie Joan La Barbara, Meredith Monk, Laurie Anderson, Diamanda Galas und David Moss sind hier vor allem zu nennen.[16]

Diese Entwicklung steht auch im Zusammenhang mit einer immer stärkeren Visualisierung vieler Lebens- und Kulturbereiche und der „Inszenierungsgesellschaft“, von der manche Soziologen[17] sprechen, wobei allerdings seit einigen Jahren versucht wird, dem Ohr und der Auralisierung ihren angemessenen Platz zu verschaffen. In engerem Zusammenhang mit Visualisierung und Performance steht auch das Element der „neuen

[13] Buchholz / Kavina, 24.
[14] Buchholz / Kavina, 20–21.
[15] Eyck 2007, 10.
[16] Fischer-Lichte 2004.
[17] Williams / Jurga 1998.

Virtuosität“, die, von vielen Musikkritikern der 1920er und 1930er Jahre geschmäht, seit einiger Zeit verstärkte Bedeutung gewinnt.[18]

Wird all dies dazu beitragen, dass das Theremin bald eine signifikant größere Bedeutung im Kulturleben einnehmen wird, als dies heute der Fall ist? Es ist anzunehmen, dass nicht zuletzt durch die erwähnte neue Theremin-Schule, durch die vielen Arten von mittlerweile preiswert zu erhaltenen Thereminen – wobei manche davon keine echten Theremine, d. h. nicht berührungsfrei zu spielen sind – und anderer oben genannter Faktoren das Theremin an Bedeutung gewinnen wird. Ein „Durchbruch“ zu einer massenhaften Verbreitung etwa im Sinne eines Synthesizers, einer elektrischen Gitarre oder eines E-Pianos ist allerdings nicht zu erwarten. Hier werden die begrenzten klanglichen Möglichkeiten des Theremins und die Schwierigkeit, es auf professionellem Niveau zu spielen, weiterhin ein Hinderungsgrund sein.

31.1 Bibliography

Bijsterveld, Karin und José van Dijck (eds.): *Sound Souvenirs.* Amsterdam: Amsterdam University Press, Chicago: Chicago University Press 2008.

Buchholz, Barbara (ed.): *theremin. Russia with love.* Mainz: intuition. Schott Music International, CD intuition 3382-2, 2004.

Buchholz, Barbara and Lydia Kavina (eds.): *touch! don't touch! music for the theremin.* Mainz: Schott Music & Media, CD WERGO, WER 6679-2, 2006, Beihefttext von Rolf W. Stoll.

Danuser, Hermann: „Neue Musik.“ In: *Musik in Geschichte und Gegenwart.* Kassel, Stuttgart: Bärenreiter, Metzler **Vol. 7** (1997).

Donhauser, Peter: *Elektrische Klangmaschinen. Die Pionierzeit in Deutschland und Österreich.* Wien, Köln, Weimar: Böhlau 2007.

Eyck, Carolina: *Die Kunst des Thereminspiels.* Berlin: Servi Verlag 2007.

Fischer-Lichte, Erika: *Ästhetik des Performativen.* Frankfurt am Main: Suhrkamp 2004.

Gronostay, Walter: Die klingende Elektrizität und der Komponist. In: *Die Musik* XXIV / 11 August 1932: 808ff.

Kavina, Lydia (ed.): *Music from the Ether, Original Works for Theremin.* New York, N.Y: mode records CD, mode 76, 1999.

Rockmore, Clara: *The Art of the Theremin.* Santa Monica: Delos CD 1014, 1987, 7.

Schubert, Giselher: *Hindemith.* Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1981.

Stuckenschmidt, Hans-Heinz: „Neue Musik.“ In: *Stimmen* **1** (1948), 250.

Williams, Herbert und Martin Jurga (eds.): *Inszenierungsgesellschaft. Ein einführendes Handbuch.* Opladen, Wiesbaden: Westdeutscher Verlag 1998.

[18] Danuser (1997), 109.

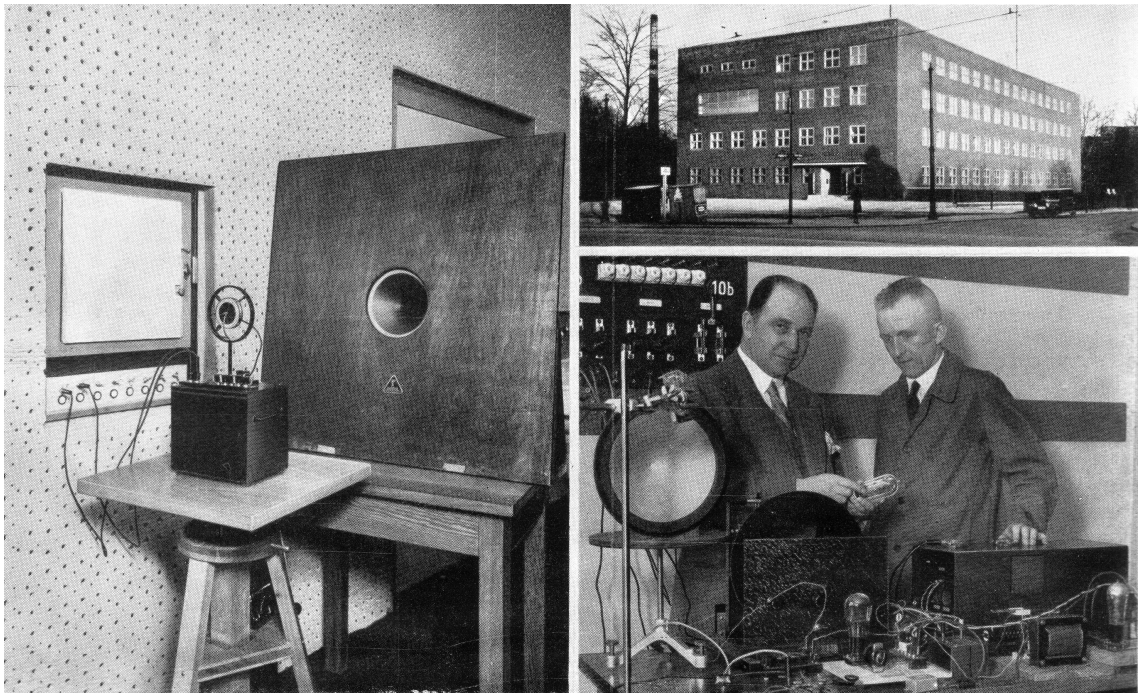


Abbildung 32.1:
Impressionen aus dem Heinrich-Hertz-Institut:
links der schalltote Raum, rechts oben das Institutsgebäude,
rechts unten Prof. Leithäuser bei Fernsehversuchen.

Umschau **34. Jg.** (1930), Heft 14, S. 274.

Das Heinrich-Hertz-Institut und die Pionierzeit der „Elektrischen Musik“ in Berlin

Peter Donhauser (Vienna)

Abstract: The Heinrich-Hertz-Institute and the time of pioneers of “electronic music” in Berlin

The development of electronic musical instruments in Germay is closely related with two institutions of Berlin: the “Rundfunkversuchsstelle” and the “Heinrich-Hertz-Institute” (HHI) which was founded 1928 nearby the today’s University of Technolgy. The aim of this unique institution was the exploration of vibration phenomena of any kind. Special focal points were acoustics, telegraphy and high frequency technology. Oskar Vierling (he was acting at the HHI since 1928) was the driving force behind the development of electronic musical instruments. He was involved in the construction of the “Neo-Bechstein” at the Department of Physics of the Berlin University together with Walter Nernst. 1931 he presented his first own results at the “Second Conference of Radio Music” in Munich. 1931 and 1932 the HHI organized an extensive presentation of electronic musical instruments at the Berlin Radio Show. As a consequence of the political development from 1933 the HHI was subject of political cleansing as well. The last presentation of the new instruments was managed in 1933. In the meantime Vierling unrestingly worked on futher constructions of instruments. 1936 he presented the electronic “KdF organ” at the Berlin Radio Show. The instrument was developed with funding of the NS organization “Kraft durch Freude”. At the same time Vierling’s electrical grand piano, the “Elektrochord” was finished by the company of Foerster. Another person working at the HHI was Harald Bode who succeeded in the US after his emigration in 1954. Vierling left Berlin in 1938. This was the end of the department for electrical music at the HHI.

32.1 Pionierzeit der „Elektrischen Musik“

In Deutschland begann die Pionierzeit der „Elektrischen Musik“ (wie Musizieren mit „Elektrischen Instrumenten“ damals bezeichnet wurde) mit Jörg Mager in den frühen

1920er Jahren. Der Volksschullehrer Mager stammte aus Aschaffenburg und flüchtete nach der Beteiligung an der Revolution 1919 in München für einige Jahre nach Berlin. Er traf dort mit bedeutenden Musikern und Technikern zusammen und konnte sein Arbeitsverhältnis bei der Elektronikfirma Lorenz dazu nützen, im Haus des „Telegraphischen Versuchsamts“ seine ersten elektronischen Instrumente zu bauen. Mittellos wie er war, war er auf die Unterstützung seitens Prominenter angewiesen. Darunter auch Dr. Karl Willy Wagner (Präsident des „Telegraphisch-technischen Reichsamts“ und später auch des „Heinrich-Hertz-Instituts“, im folgenden mit „HHI“ abgekürzt). Er übersiedelte später nach Darmstadt, sonderte sich von den übrigen „Elektromusikern“ ab und spielte (insbesondere in den 1930er Jahren) keine wesentliche Rolle mehr. In der Zeit zwischen seinem ersten öffentlichen Auftreten in Donaueschingen 1926 und seinem letzten in Weimar 1936 entwickelte Mager zahlreiche Instrumentenvarianten. Magers Assistent in der Mitte der 1920er Jahre war nicht irgend ein Laborant, sondern Oskar Vierling, der später in Berlin am HHI eine wesentliche Rolle bei der Entwicklung und Popularisierung elektrischer Instrumente spielen sollte. Vierling schloss 1925 die höhere Staatslehranstalt in Nürnberg mit dem Ingenieurtitel ab und war anschließend am besagten Reichsamt angestellt. Er trennte sich drei Jahre später von Mager und ging nach Berlin an das gerade gegründete „Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung“ als Assistent Wagners, verschwieg aber in der Folge geflissentlich die Arbeit bei Mager. Es verwundert nicht, dass Mager aufgrund der extrem unterschiedlichen Persönlichkeiten seinen ehemaligen Assistenten später als persönlichen Gegner betrachtete.

Ausschlaggebend für die weitere Entwicklung in Deutschland waren letztendlich die Aktivitäten an zwei neu gegründeten Instituten in Berlin: der „Rundfunkversuchsstelle“ an der Hochschule für Musik und am „Heinrich-Hertz-Institut“. Konzentrierten sich die Aktivitäten der Rundfunkversuchsstelle vor allem auf das „Trautonium“, so war die Entwicklung auf dem Instrumentensektor am HHI breiter gefächert. Jedenfalls kommt beiden Institutionen eine Schlüsselposition zu, was die Entwicklung und Popularisierung „elektrischer Instrumente“ in den 1930er Jahren in Deutschland betrifft.

32.2 Zwei neue Institute in Berlin

Berlin entwickelte sich gegen Ende der 1920er Jahre zu einem Zentrum der akademischen Forschung über elektrische Musikinstrumente. Dadurch entstand eine Dynamik in der Entwicklung, die dazu führte, dass später anderen, die nicht zum „Berliner Kreis“ gehörten, wenig öffentliche Aufmerksamkeit eingeräumt wurde.

1928 wurde nahe der heutigen Technischen Universität das „Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung“ gegründet, nahm 1929 einen Teilbetrieb und 1930 nach Fertigstellung eines Neubaus den Vollbetrieb auf.[1] Maßgebliche Initiatoren waren Karl Willy Wagner (der erste Direktor des Instituts) und Gustav Leithäuser, beide Professoren und seit der ersten Zeit des Rundfunks mit schwingungstechnischen Fragen befasst. Ziel dieser weltweit einzigartigen Institution war die Erforschung von Grundlagen für Rund-

[1] Daten aus einer Korrespondenz anlässlich der Amtsenthebung Wagners. Privatbesitz, Kopie beim Autor.

funk, Fernmeldetechnik, lineare Netzwerke, Wellenausbreitung, Höchstfrequenztechnik und Schwingungsphänomene jeglicher Art. Die Arbeit sollte an den Instituten „Elektrische Schwingungslehre“ (Vorstand: G. Leithäuser), „Telegraphie u. Fernsprechtechnik“ (Hans Salinger), „Akustik“ (E. Meyer) und „Mechanik“ (W. Hort) erfolgen. Einen besonderen Schwerpunkt stellte die Akustik (vom Musikinstrument bis hin zum Großstadtlärm) dar. Zahlreiche Labors, ein Hall-Raum mit 8 Sekunden Nachhalldauer und ein Hörsaal sollten optimale Arbeitsbedingungen bieten. Die Elektroindustrie stiftete RM 450.000.- als einmaligen Beitrag zur Errichtung, später kamen noch RM 200.000.- von der Deutschen Reichsbahn dazu. Reichspost, Kultusministerium und der Rundfunk verpflichteten sich, ab dem 1. April 1927 laufende Jahresbeiträge in Gesamthöhe von RM 185.000.- zu leisten.[2] Es ist nicht leicht, einen aussagekräftigen Umrechnungsfaktor für die Reichsmark der fraglichen Zeit anzugeben, sind doch die „Warenkörbe“ gegenüber der heutigen Zeit zu unterschiedlich. Als Richtwert gilt für 1928: 1 RM = 2,8 Euro. Dies ist allerdings mit Vorsicht zu betrachten, da die Preisrelationen zwischen technischen Gütern, Luxusgütern und Gütern des täglichen Bedarfs (der „Warenkorb“) mit den heutigen nicht vergleichbar sind.

Fast gleichzeitig, nämlich am 3. Mai 1928 wurde an der „Staatlich-akademischen Hochschule für Musik“ (heute „Universität der Künste“) in Berlin die sogenannte „Rundfunkversuchsstelle“ eröffnet. Ihre Aufgabe sollte sein, technische und musikalische Probleme des neuen Mediums Rundfunk zu bearbeiten und „auch neuere Erfindungen, wie das Magersche Sphärophon zu berücksichtigen“.[3] Die Einrichtung (von Siemens ausgeführt) wurde mit Gustav Leithäuser eingehend besprochen, der stellvertretende Direktor Schünemann versprach sich von der neuen Einrichtung auch die Möglichkeit, Aufführungen der Hochschule im Rundfunk zu übertragen.[4] Zum Aufgabenbereich gehörten weiters Fragen des Tonfilms und der Schallplatte, selbst mit dem Röntgentonfilm wurde hier in der Folge erstmals experimentiert. Zwei Jahre nach der Eröffnung sollte Friedrich Trautwein, einer der Pioniere des Deutschen Rundfunks, Techniker und Physiker, an der Rundfunkversuchsstelle sein „Trautonium“ entwickeln und erstmals vorführen. Paul Hindemith nützte die Möglichkeiten dieser neuen Institution für eine Reihe experimenteller Vorlesungen, vor allem im Bereich der Filmmusik. Die Rundfunkversuchsstelle war in der Folge bis zu ihrer endgültigen Schließung 1935 hauptsächlich ein Experimentierfeld für Trautwein, so dass sich das Trautonium heute als das einzige greifbare Ergebnis der Tätigkeit der Institution darstellt. Obwohl schon sieben Jahre nach der Eröffnung von den Nationalsozialisten 1935 geschlossen, ist ihre Existenz bis heute bei interessierten Kreisen in einer geradezu legendenhaften Erinnerung, da Oskar Sala[5] (damals Student an der Hochschule und später Protagonist des Trautoniums) bei jeder sich bietenden Gelegenheit erzählte, wie er auf Anregung Hindemiths in die Räume unter Dach gestie-

[2] „Bericht über meine seit dem 31.1.1936 schwebende Angelegenheit“, ebenda.
[3] Erlass des Preußischen Kultusministeriums vom 11.6.1926. Archiv der Universität der Künste (UdK), Bestand 1b, Nr. 1, fol. 132.
[4] Brief an den Minister für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung vom 21.9.1926. Archiv der UdK, Bestand 1b, Nr. 1, fol. 130.
[5] Oskar Sala, 1910–2002.

gen wäre und dort Trautwein traf. Eigentlich wäre die Rundfunkversuchsstelle mit einem heutigen Begriff als Keimzelle einer „Medienhochschule“ anzusprechen.

Obwohl sich die Rundfunkversuchsstelle im Unterschied zum HHI den künstlerischen Aufgaben des Rundfunks (aber auch z. B. der Sprechtechnik vor dem Mikrofon) widmen wollte, ist die Abgrenzung beider Institutionen nicht klar, wurde doch z. B. an beiden mit elektronischen Instrumenten experimentiert. Auch war K. W. Wagner als Leiter des HHI gleichzeitig stellvertretender Vorsitzender des Kuratoriums der Rundfunkversuchsstelle, das neben dem Staat ein Aufsichtsrecht hatte. Daher erging seitens des Ministeriums im Herbst 1930 der Auftrag, „eine zweckmäßige Zusammenarbeit“ mit dem HHI zu pflegen und „Doppelarbeit und Überschneidungen“ zu vermeiden.[6] Auffällig war vor allem, dass Trautweins Arbeit beträchtliche Summen verschlang, obwohl er in der Folge von Telefunken unterstützt wurde. Es verwundert daher nicht, dass sich Kritik regte. Nun saßen im Kuratorium der Rundfunkversuchsstelle nicht nur Bürokraten, sondern auch K. W. Wagner als stellvertretender Vorsitzender. Trautwein konnte daher im Prinzip zwar mit Unterstützung rechnen, wurde aber auch kritisch beobachtet. Vorerst unbeanstandet[7] (man konzedierte ihm sogar einen Mechaniker als Hilfskraft[8]) hieß es für das Geschäftsjahr 1931: die Entwicklung des Trautoniums wäre zu teuer, nicht Sache einer Hochschulinstitution und hätte auch von der Industrie finanziert werden können, wie das auch beim HHI der Fall wäre[9].

32.3 Die Arbeit an „Elektrischen Instrumenten“ am Heinrich-Hertz-Institut

Oskar Vierling, der seit 1928 am HHI tätig war und mittlerweilen an der Berliner Universität Physik studierte, sollte sich in der Folge als treibende Kraft bei der Entwicklung „Elektrischer Instrumente“ am HHI entwickeln. Seine ersten Kontakte mit Mager hatten ihn offensichtlich für die Beschäftigung mit der Elektrifizierung von Musikinstrumenten inspiriert, sodass die Arbeit daran seine weitere Laufbahn bis in die späten 1950er Jahre begleitete.

Vierling arbeitete vorerst am Physikalischen Institut der Berliner Universität unter Walther Nernst an der Entwicklung des „Neo-Bechstein Flügels“ mit. Die Hauptlast der Entwicklungstätigkeit lag allerdings (wenig bedankter Weise) bei Hans Driescher, dem Assistenten von Nernst, der für einige Details auch Patente erhielt. Dieses später Nernst als „Erfinder“ zugeschriebene elektromechanische Klavier wurde 1931 erstmals

[6] Schreiben des Ministeriums für Wissenschaft, Kunst und Volksbildung an die Rundfunkversuchsstelle vom 9.9.1930. Archiv der UdK, Bestand 1b, Nr. 1, fol. 46.
[7] Sitzung des Kuratoriums der Rundfunkversuchsstelle vom 9.12.1931, Archiv der UdK, Bestand 1b, Nr. 1, fol. 0.
[8] Stellungnahme zur Prüfung der Jahresrechnung von 1930. Archiv der UdK, Bestand 1b, Nr. 1, fol. 29.
[9] Sitzung des Kuratoriums der Rundfunkversuchsstelle vom 15.11.1932, Archiv der UdK, Bestand 1b, Nr. 2.

der Öffentlichkeit vorgestellt.[10] Vierling beschäftigte sich jedoch parallel dazu mit eigenen Ideen. Er hatte vorerst mit rein elektronischen Generatoren experimentiert, wendete sich aber wegen der zu geringen Frequenzstabilität wieder davon ab und experimentierte ausführlich an der Abnahme von Saitenschwingungen, vor allem an Klavieren. Die ersten Ergebnisse stellte er 1931 auf der „Zweiten Tagung für Rundfunkmusik“ in München vor. Die Presse urteilte: „Große Aufmerksamkeit erregten auch die Versuche, die Oskar Vierling, Berlin zum Schlusse noch mit einer von ihm konstruierten elektrischen Orgel vorführte. Die Arbeiten Vierlings haben gleichzeitig auch zur Konstruktion eines elektrischen Klaviers geführt, bei dem namentlich eine wesentliche Verbesserung der tiefen Töne erzielt wurde. Auch die schnellsten Läufer können ohne ein Ineinanderklingen der Töne gebracht werden.“[11] Zur Unterstreichung der Bedeutung dieser Experimente sei noch ein Artikel der „Allgemeinen Musikzeitung“ zitiert. Die Journalistin Margot Epstein,[12] die zahlreiche Rezensionen über elektrische Instrumente veröffentlichte, schrieb dazu:

> *„Aber auch schon auf dem vorläufig als Versuchsinstrument von Vierling ‚elektrifizierten' kleinen Klavier lassen sich verblüffende Klangwirkungen erreichen. Vierling ging von dem Gedanken aus, daß der bereits erzeugte, mechanisch schwingende, im Raum stehende Ton nicht mehr beeinflußbar ist – alle heutigen physikalischen Erkenntnisse also für den bereits hörbar gewordenen Ton nichts nutzen. Darum schaltete er den natürlichen Resonanzboden aus und setzte in die Nähe der Saiten Magnete, die die mechanischen Schwingungen vor dem Erklingen auffangen und in elektrische verwandeln. Diese werden dann in ein nach seinen Forschungen konstruiertes ‚Tonwandlungs-Laboratorium' geleitet, in dem elektrische Spulen und Kondensatoren ihr Werk verrichten, bevor dann schließlich aus einem Lautsprecher der Ton erklingt.“*[13]

Die Münchner Tagung war allerdings auch Anlass zu einem schwelenden Konflikt zwischen Trautwein und Vierling: Trautwein beschwerte sich darüber, dass dem „Nichtakademiker“ Vierling (er war damals noch nicht graduiert) gegenüber ihm, dem akademischen Lehrer, zuviel Gelegenheit geboten wurde, sich über die Entwicklung der elektrischen Instrumente zu äußern. Trautwein wäre sogar bei der Vorbereitung „schikaniert“ worden. Dieser an sich nebensächliche Konflikt zeigt deutlich einen unausgesprochenen Gegensatz zwischen dem HHI und der Musikhochschule, der (wie

Trautwein meint) zu einer Entscheidung dränge.[14] 1934 klang es anders: Trautwein nennt Vierling einen „außerordentlich tüchtigen Fachmann“ und empfiehlt ihn als Gut-

[10] Genaueres zur Entwicklung des Instruments findet sich in: Donhauser, Peter: Elektrische Klangmaschinen. Die Pionierzeit in Deutschland und Österreich, Wien 2007.

[11] Elektroakustische Instrumente. In: Münchner neueste Nachrichten vom 8.7.1931, S. 5.

[12] Margot Epstein, 1890–1942.

[13] Epstein, Margot: Neue elektrische Musiziermöglichkeiten. In: Allgemeine Musikzeitschrift **58. Jg.**, S. 546.

[14] Schreiben Trautweins an Rektor Schünemann vom 15.2.1933, Archiv der UdK, Bestand 1b, Nr. 10, fol. 138.

achter:[15] kein Wunder, hatte sich doch Vierling durch seine Arbeit mit elektrischen Instrumenten längst einen guten Namen gemacht, war am HHI etabliert und (wie Trautwein auch) längst der NSDAP und weiteren NS Organisationen beigetreten,[16] sodass Trautwein nicht um ihn herum konnte.

32.4 Die Berliner Funkausstellung 1931

Zurück zum Jahr 1931. Das erste öffentliche Auftreten des HHI im Zusammenhang mit elektrischen Instrumenten fand im Sommer bei der „8. Funk- und Phonoschau“ in Berlin statt. Die seit 1924 abgehaltenen großen Berliner Funkausstellungen boten ein ideales Forum, die neuen Instrumente der Öffentlichkeit vorzuführen. Noch war der Umfang der Präsentationen nicht so groß wie im darauffolgenden Jahr, das HHI zeigte das Trautonium mit Oskar Sala, Bruno Helberger war mit seinem Hellertion vertreten und auch das Theremin durfte nicht fehlen. Vierling führte sein erstes elektromagnetisches Klavier nahezu unbemerkt von der Öffentlichkeit vor. Es wurde nur in einem einzigen Artikel erwähnt.[17] Sehr auffällig scheint die gesamte Präsentation nicht gewesen zu sein, der Rezensent der „Vossischen Zeitung“ wäre beinahe daran vorbeigegangen. Umso begeisterter äußerte er sich dann, nachdem ihn ein „Mann mit dem Radio-Pianola“ darauf aufmerksam gemacht hatte.[18] Es hat sich aber ein Wochenschaubericht erhalten,[19] in dem Prof. Leithäuser vom HHI zu sehen ist, wie er (mit unterlegtem Ton) versucht, das Theremin vorzuführen. Anschließend spielt Sala das Trautonium, wobei ein Satz aus einer Violinsonate mit verschiedenen Klangfarben (offensichtlich als das wesentliche Element eingeschätzt) mit Klavierbegleitung vorgezeigt wird.

32.5 Vierlings „Elektrochord“

Vierling beschäftigte sich, wie bereits erwähnt, seit 1925 mit elektronisch erzeugten Klängen. Ein unmittelbares Ergebnis war ein Patent auf eine „Einrichtung zur Erzeugung von Tönen bestimmter Klangfarbe“, in dem er die Formantbildung mittels eines Resonanzkreises beschrieb, wie dies 2 Jahre später Trautwein beim Trautonium verwenden sollte.[20] Auch die Arbeiten am Neo-Bechstein und seine weiteren Experimente mit Kla-

[15] Trautwein, Friedrich: Gutachten über einen Zeitungsartikel ... In: Archiv der UdK, Bestand 1/142 fol. 2.
[16] Bundesarchiv Berlin, NSDAP Kartei, Signaturen 31xx/S0091, 3200/X0066, RS G0425, ZB II 1945 A.7 und Personenakte im Bestand des Berlin Document Center.
[17] Der Rückkopplung Zähmung. Funkpost (1931), Nr. 35 vom 28.8.1931, S. 56.
[18] Klötzel, C.: Das Wellenbad der Töne. In: Vossische Zeitung vom 25.8.1931.
[19] EMELKA Woche 1933, 1. Teil, 2. Rolle, Signatur 50335, Deutsches Filminstitut Wiesbaden. Die Bezeichnung ist irreführend, da der darauf befindliche Ausschnitt die „8. Deutsche Funk- und Phonoschau“ 1931 zeigt.
[20] Patent: DE 626.179 vom 24.7.1928.

vierklängen ließen ihn am HHI ein eigenes Instrument entwickeln, das gemeinsam mit der bekannten Klavierfirma Förster später in ganzen 6 Exemplaren[21] hergestellt wurde.

Vierling meinte, in mechanischen Schwingern (Saiten) konstantere und musikalisch wertvollere „Generatoren“ vor sich zu haben als bei elektronischen Generatoren (erst Jahre später widmete er sich vor allem seiner vollelektrischen Orgel). Er untersuchte zuerst genau den „normalen Klavierton“, um dann davon auszugehen und elektrisch Veränderungen anzubringen.[22] Er entdeckte dabei, dass sich die Schwingungsrichtung der Saite während des Abklingvorgangs verändert: zuerst schwingt die Saite in der Anschlagebene (also senkrecht zum Resonanzboden), dreht aber dann ihre Schwingungsrichtung, sodass sie bald auch parallel zum Resonanzboden zu schwingen beginnt (man nennt das „zirkular polarisiert“). Dies hat einen wesentlichen Einfluss auf die Nachklingdauer: die erste Komponente entsteht explosionsartig beim Anschlag und klingt rasch ab, die zweite entsteht erst allmählich und klingt mit kleinerer Amplitude lange nach). Das hat klare Konsequenzen für die Tonabnahme von den Saiten. Vierling experimentierte mit unterschiedlichen Spulenanordnungen (über und neben der Saite), um die beste Lösung für einen natürlich wirkenden Klavierton (auch hinsichtlich des schon früher als störend empfundenen Anschlaggeräusches) zu finden.[23] Über eine Zwischenstufe (eine Anordnung, bei der in der schwingenden Saite selbst durch Anlegen eines Magnetfeldes eine Spannung induziert wird[24]) gelangte er zu der Anordnung, die sich später in der endgültigen Form des „Elektrochord“ finden sollte: er entwickelte die „elektrostatische“ Abnahme.[25] Diese funktioniert im Prinzip wie ein Kondensatormikrofon: die Schwingungen verändern den Abstand zweier geladener Körper, sodass durch Kapazitätsveränderungen Lade- und Entladeströme entstehen, die zu den Abstandsänderungen in erster Näherung proportional sind.[26] Die so entstandene Tonspannung wird (wie bei der elektromagnetischen Abnahme) dann weiter verstärkt und über Lautsprecher wiedergegeben. Je nach Lage der Elektrode werden verschiedene Teiltöne des Saitenspektrums bevorzugt abgenommen. Vierling hatte das vorher schon mit Abnahmemagneten versucht.[27] Diese Tatsache machte er sich bei seinem neuen Instrument, das den Namen „Elektrochord“ erhielt, zu Nutze: es wurde mit unterschiedlichen Positionen der Elektroden experimentiert. Eine Elektrode in der Mitte der Saite nimmt vor allem den Grundton ab und alle Obertöne, die in der Saitenmitte Schwingungsmaxima aufweisen (der zweite, vierte usw.). Je nach Lage der Elektrode ergeben sich andere Obertonzusammensetzungen.[28] Wie das einzige erhaltene Instrument im Deutschen Museum in München zeigt, wurden letztendlich vier

[21] Flügelnummern 63900 (geliefert 2.12.1932), 63930 (30.6.1933), 63940 (27.7.1933), 63950 (26.1.1934), 64000 (25.7.1935 an Vierling), 75500 (29.1.1938 leihweise an Institut Schering/Berlin). Nach freundlicher Mitteilung von Wolfgang Förster.

[22] Vierling, Oskar: Das elektroakustische Klavier. Berlin 1936, S. 4ff.

[23] Siehe dazu auch: Donhauser, Peter: Elektrische Klangmaschinen. Die Pionierzeit in Deutschland und Österreich, Wien 2007.

[24] Patent: DE 618.301 vom 8.4.1931.

[25] Das elektroakustische Klavier, a.a.O., S. 19ff. Die entsprechenden Patente: DE 684.581 und DE 718.105.

[26] Patent DE 651.338.

[27] Patent DE 672.332.

[28] Patent DE 706.639.

Abbildung 32.2:
Oskar Vierling (1904–1986) am Elektrochord
Funktechnische Monatshefte **Jg. 1933**, S. 407.

Elektroden bei $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ und $\frac{3}{4}$ der Saitenlänge angebracht. Darüber hinaus konnte man verschiedene elektrische Filter zuschalten, sodass sich insgesamt eine beträchtlich größere Klangvielfalt als beim Neo-Bechstein ergab. Die wohl umfangreichste Beschreibung möglicher Alternativen, die zur endgültigen Ausführung des Elektrochord führten, findet sich im Patent DE 643.037. Hier wird eine Vielzahl verschiedener Varianten von Elektrodenanordnungen, Resonanzsaiten, Mehrfachbesaitungen, Hammeranschlagstellen, unterschiedlich großer (oder auch fehlender) Resonanzböden und verschiedener elektrischer Kombinationen von Abnahmeorganen beschrieben. Auch hier zeigt sich, dass man bestrebt war, möglichst viele Varianten und Details (auch marginale) unter Schutz zu stellen, da die Konkurrenz beträchtlich und die weiteren Marktchancen unvorhersehbar waren.

Die Verhältnisse bei der Entwicklung des Elektrochord waren, was die Anzahl der Beteiligten betrifft, im Vergleich zum Neo-Bechstein etwas einfacher. Es findet sich in der Reihe der Entwickler nur ein zweiter Name. Die Zeitschrift für Instrumentenbau liefert in ihrem Artikel „Das neue Förster-Elektrochord“ den entsprechenden Hinweis: „es handelt sich hierbei um wichtige Patente des Amerikaners Miessner,[29] die gemeinsam mit Vierlings Patenten Anwendung gefunden haben“. Vierling erwähnt dies selbst in einer Fußnote: „Während der Arbeit besuchte mich der Amerikaner Herr B. F. Miessner, der gleichzeitig an denselben Problemen arbeitete und zu gleichartigen Lösungen gelangt war. Dies veranlasste uns zu einer engen Zusammenarbeit, und so möchte ich ihm als Mitarbeiter an dieser Stelle danken“.[30] Untersucht man die Patente Miessners, so finden sich tatsächlich bemerkenswerte Parallelen. So gibt es eine Anmeldung, in der die Abnahme der Saitenschwingung senkrecht und parallel zum Resonanzboden auf magnetischem Weg beschrieben wird[31] und mehrere Vorschläge für magnetische oder elektrostatische Abnahmelösungen mit und ohne Resonanzböden.[32] Die im bereits erwähntem Konvolut Vierlings (DE 643.037, mit Anmeldung der Priorität in den Vereinigten Staaten) angeführten Vorschläge finden sich in mehreren Patenten Miessners wieder, ein und dieselben Zeichnungen wurden von beiden verwendet.[33] Auch die österreichischen Patente Vierlings (AT 135.779, 135.787, 136.125 und 138.233) beziehen sich auf dasselbe Konvolut. Ein weiteres Experimentierfeld Vierlings war die Frage, wie man den Anschlagverlauf akustisch anders gestalten könnte (beim Neo-Bechstein wurde dies durch die besondere Ausprägung der Hämmer versucht).[34] Miessner selbst war in den Vereinigten Staaten noch jahrelang nach dem Kontakt mit Vierling in der Entwicklung elektronischer Instrumente aktiv (mehr als 150 Patente bis in die 1960er Jahre). Sein Arbeitsgebiet umfasste im Wesentlichen zusätzlich Hochfrequenztechnik (z. B. funktechnische Steuerung von Torpedos) und allgemeine elektroakustische Fragen (z. B. Mikrofonkonstruktionen).

[29] Benjamin Franklin Miessner, 1890–1976.
[30] Das elektroakustische Klavier, a.a.O., S. 1.
[31] Patent US 1,915.858, angemeldet am 9.4.1931.
[32] Patente US 1,929.027, US 1,929.029, US 1,929.031.
[33] Patente US 1,912.293, US 1,915.859, US 1,929.030, US 1,933.295.
[34] Zur detaillierten Beschreibung siehe „Das elektroakustische Klavier“, a.a.O.

Das Interesse von Musikern am Elektrochord war groß („... laufen hier die Bude ein ...“, wie Claudio Arrau),[35] jedoch nicht anhaltend. Es gab auch nicht ausreichend viele Instrumente, es wurde zu lange daran herumexperimentiert. Vierling schrieb in einem Artikel aus 1936 (!), dass das Instrument nun seine endgültige Form erreicht hätte.[36] Elektrostatische Tonabnahme an vier Stellen der Saite und ein Schaltkontakt je Taste für den weichen Toneinsatz. Dies entspricht dem Erscheinungsbild des einzigen erhaltenen Instruments im Deutschen Museum München, lediglich die Schaltkontakte fehlen. Das Versuchsexemplar von 1932 wurde am 14. September des Jahres am HHI einem geladenen Kreis vorgestellt.

Ähnlich den Experimenten an Klavieren versuchte Vierling, Streichinstrumente zu elektrifizieren. Dies gelang tatsächlich an Geigen und Celli. Er war allerdings nicht der einzige, der dies versuchte. Eine Reihe von Patenten (darunter eines von Hammond) weisen in dieselbe Richtung. Auch hier ergibt sich eine Parallele zu Miessner, der ebenfalls eine Serie elektrifizierter Streichinstrumente herstellte.

Die größte Schau elektrischer Instrumente fand wohl 1932 anlässlich der 9. Berliner Funkausstellung statt. Das HHI hatte die ganze Halle 5 gemietet und auf der Bühne ein großes „Elektrisches Orchester“ zusammengestellt. Alle zu dieser Zeit in Deutschland in Entwicklung begriffenen Instrumente (mit Ausnahme der Prototypen Magers) waren vertreten. Im Katalog zur Ausstellung findet sich ein sechs Seiten langer Artikel über die Sonderschau der „Elektrischen Musik“. Darin beschreibt der Autor W. Fehr die Entwicklungsgeschichte gemeinsam mit technischen Details und erwartet, dass die „intensiven Arbeiten der Forscher und Ingenieure auf diesem neuen interessanten Gebiet noch viele für Kunst und Technik wertvolle Ergebnisse zeitigen“. Zu hören waren: der Neo-Bechstein, Vierlings elektrifizierte Streichinstrumente, das Trautonium, das Hellertion, das Theremin und das Elektrochord.[37] Ferner zwei Versuchsinstrumente des HHI: ein Fotozellen-Instrument, das eine ähnliche Spieltechnik wie das Theremin aufwies, und ein Lichtbogeninstrument, bei dem man wegen der hohen Energie der Stromoszillationen im Lichtbogen keinen Leistungsverstärker benötigen würde. Die Frequenzsteuerung dieses Instruments, das eine Wolframbogenlampe enthielt, wurde durch Änderung der Vormagnetisierung einer Spule im Tonkreis bewirkt. Dazu benütze man ein Bandmanual, wie es auch beim Trautonium verwendet wurde (siehe Abb. 32.3). Täglich fanden bis zu 6 Vorführungen statt (Sala nennt sie „elektrische Konzerte“). Dies war vor allem das Verdienst Professor Leithäusers, der diese wirkungsvoll aufgemachte Schau zusammengestellt hatte. Er moderierte persönlich mit ausführlichen Erklärungen, hielt Vorträge und sang sogar selbst Bassarien ins Mikrofon (er wollte ursprünglich Opernsänger werden).

Es gab für Besucher die Möglichkeit, die Instrumente auszuprobieren und es wurde sogar ein Preis für den Geschicktesten ausgesetzt. Dies alles erfährt man aus einem Mit-

[35] Brief Vierlings an Förster vom 5.5.1955, Inventarunterlagen zum Elektrochord, Deutsches Museum München.

[36] Vierling, Oskar: Das Förster Elektrochord. In: ZS des Vereines Deutscher Ingenieure **Band 80**, Nr. 35 vom 29.8.1936, S. 1069.

[37] Die Liste der Instrumente ist beim Konvolut der überlieferten Gelatine-Platten beigeschlossen. Beim Foto der Bühne, das in der Novemberausgabe 1932 der „Funkschau“ abgedruckt war, fehlt die Bezeichnung „Elektrochord“. Statt dessen wird das Instrument irrtümlich als „Neo-Bechstein“ bezeichnet.

schnitt der Präsentationen, der sich auf insgesamt 31 Selbstschnittplatten aus Gelatine erhalten hat. Die darauf gespeicherten Eindrücke der Funkausstellung umfassen rund 60 Minuten. Leider schließen die Platten nicht unmittelbar aneinander an, sondern geben nur einen Querschnitt durch die verschiedensten Vorführungen.

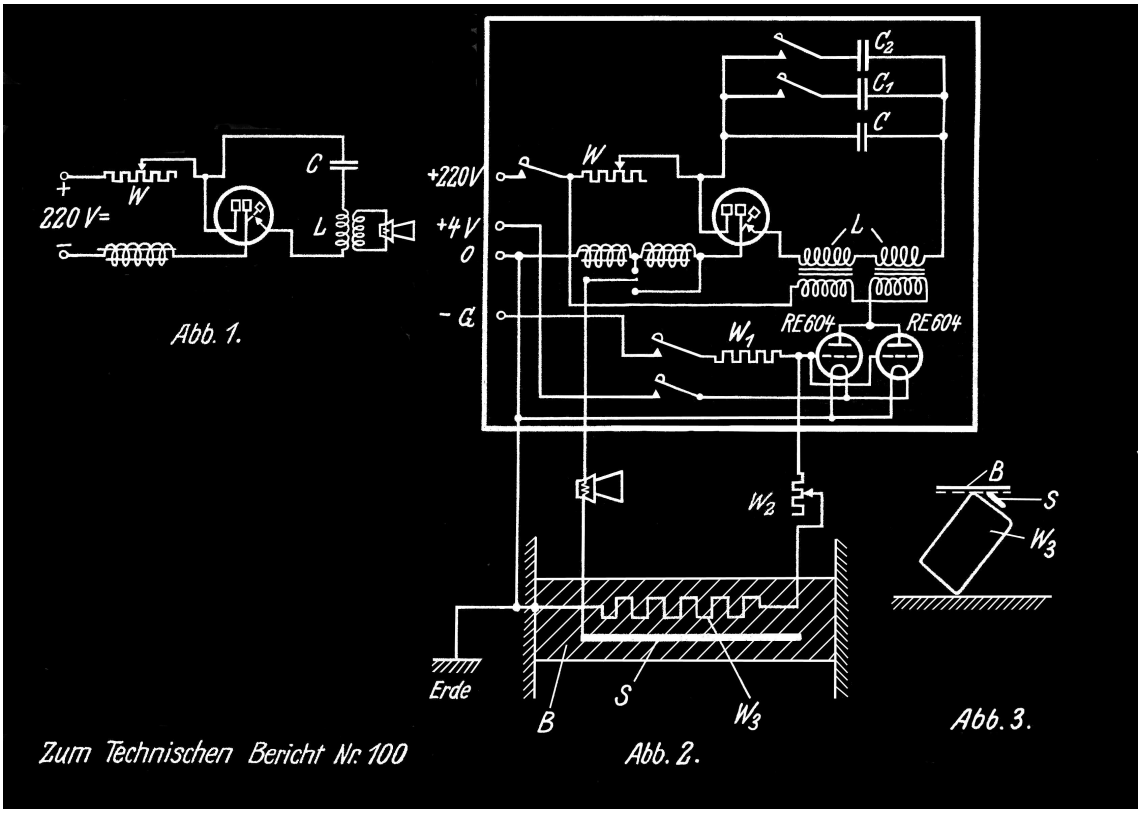


Abbildung 32.3:
Die Schaltung des „Lichtbogeninstruments“
Technischer Bericht **Nr. 100**, HHI 1932.

Leithäuser, der sich um eine ausgewogene Darstellung der einzelnen Instrumente bemühte, ist immer wieder auf den Aufnahmen zu hören. Dazu Wolja Saraga (1908–1990), der am HHI neben Vierling auch an der Entwicklung neuer Instrumente beteiligt war, z. B. am Lichtbogeninstrument. Er entwickelte auch ein Instrument, das zur Klangerzeugung lichtempfindliche Bauteile (Photozellen) besaß, den sogenannten „Saraga-Generator“ (1931). Er bestand aus einem weiß gestrichenen Kasten, in dem eine Photozelle angebracht war. Durch einen Schlitz in einer der Wände konnte Licht auf die Zelle fallen. Durch Bewegung der Hand vor dem Schlitz (ähnlich dem Theremin) wurde die Tonhöhe verändert. Die Klangfarbe wurde mit Schaltern eingestellt, die Lautstärke

mit einem Fußpedal.[38] Nach 1945 war allerdings von ihm nichts mehr auf dem Gebiet der elektrischen Musik zu hören. Er musste das HHI aus „politischen bzw. rassischen Gründen“ verlassen und emigrierte 1938 nach England, wo er später wissenschaftlich sehr erfolgreich auf dem Gebiet elektronischer Schaltungen arbeitete.

Die Aufnahmen der Präsentationen wurden von Friedrich Wilhelm Otto („FWO“) Bauch, einem Physiker, der ab 1930 ebenfalls am HHI tätig war, hergestellt.[39] Gespielt wurde vor allem klassisches Repertoire (u. a. immer wieder der „Schwan“ von C. Saint-Saëns, Stücke von Chopin, Grieg, Händel usw). Auch einige aktuelle Titel des Unterhaltungsgenres waren vertreten. Zusammengefasst wird in den Erläuterungen Leithäusers angesprochen, was man von den elektrischen Instrumenten erwartete:

- Klangfarbenvielfalt, wie sie mit keinem anderen Instrument erzielbar war
- Einfache, billige Instrumente für die Belebung der Hausmusik
- Instrumente für Großverstärkeranlagen zur Beschallung bei Kundgebungen. Noch war allerdings nicht die Rede von den NS Massenveranstaltungen, bei denen neue Lautsprecherkonstruktionen Beschallungsaufgaben zu erfüllen hatten, an die vorher keiner zu denken gewagt hatte. Darauf wird später noch eingegangen.

Stellvertretend für das Echo der Öffentlichkeit steht ein Artikel der „Vossischen Zeitung“: *„. . . nie gehörte, immer neue Klangfarben bringt dieses Instrument bei jeder Bewegung des Knopfes hervor. Hier kann sich der Künstler sozusagen dreidimensional austoben, d.h. die Höhe, Stärke und Farbe des Klanges spielen.“*[40] Begeistert äußert sich auch das Fachmagazin DIE MUSIK: „Die Sensation der diesjährigen Funkausstellung wird vermutlich das erste serienmäßig hergestellte elektrische Musikinstrument sein [Anm.: das Trautonium].“[41] Die *Deutsche Allgemeine Zeitung* widmete dem Auftreten der Elektrischen Musik mehrfach Beachtung: eine ganze bebilderte Seite in der Beilage „Kraft und Stoff“ vom 25. August 1932 mit eingehender Beschreibung der Instrumente und in der Beilage „Unterhaltungsblatt“ vom 26. August einen Artikel des Dirigenten und Musikschriftstellers Siegfried Goslich, der später im Rundfunk eine für die elektrische Musik positive Rolle spielen sollte. So positiv die Entwicklung auch dargestellt wurde, äußerte Goslich doch ernste Zweifel, was das Repertoire anlangt:

> *„Keinesfalls kann es sich ja hier darum handeln, bestehende, also etwa klassische Musikwerke mit den technischen Mitteln des zwanzigsten Jahrhunderts in Klänge umsetzen zu wollen; solche Versuche müssen – und das zeigte leider auch die sonst so gelungene Vorführung – vor einem urteilsfähigen Publikum unweigerlich dem Odium zwitterhafter stilistischer Diskrepanz, wenn*

[38] Saraga, Wolja: Ein neues Elektrisches Musikinstrument. In: Funktechnische Monatshefte (1932), S. 433 und Saraga, Wolja: An Electronic Musical Instrument with a Photo-Electronic Cell as Playing Manual. In: Electrical Engineering **17** (1945), S. 601–603.

[39] Bauch nahm die Aufnahmen 1947 nach England mit (er hatte dort schon 1934 auf Auftrag des Heinrich-Hertz-Instituts gearbeitet), wo sie erstmals 1981 auf Band übertragen wurden. Schlussendlich wurden die Platten an die Folkwang-Hochschule Essen verkauft.

[40] Das elektrische Trio. In: Unterhaltungsblatt der Vossischen Zeitung, Nr. 231 vom 20.8.1932.

[41] Lion, A.: Das Trautonium. In: Die Musik XXIV/11, August 1932, S. 833.

nicht dem Vorwurf der Geschmacklosigkeit verfallen. Dagegen bietet das neue elektrische Musikinstrument dem Komponisten Gelegenheit, Geist und Wollen modernen musikalischen Denkens in entsprechender Weise klanglich zu realisieren.“

Abbildung 32.4:
Die Bühne mit dem „elektrischen Orchester“.
Von links nach rechts: Elektrisches Cello (Dr. Reinhold), elektrische Geige (Frau Sujovolsky), Elektrochord (Frl. Wolfsthal), Theremin-Vorsatz (Martin Taubmann), Theremin (Kristy Tscharikoff), Prof. Leithäuser am Mikrofon, Trautonium (Oskar Sala), Hellertion (Bruno Helberger), Neo-Bechstein (Max Nahrath)
Die Zuordnung der Instrumente an Interpreten stammt aus dem Begleitmaterial zu den Gelatine-Platten. Die Verwechslung des Neo-Bechstein mit dem Elektrochord in der im Bild genannten Instrumentierung geht auf die Bildpublikation in der „Funkschau“ zurück. Die Identifizierung von Nahrath beruht auf einem Vergleich mit einer Abbildung in der „Funk-Stunde“ vom 23.11.1932.

Funkschau **Jg. 1932**, Heft 52.

Eine ähnliche, wenn auch kleinere Präsentation elektrischer Instrumente fand anlässlich der „Radiotage“ in Oslo zwischen dem 29. November und 3. Dezember 1932 im „Ingeniørenes Hus“ statt. Martin Taubmann (Theremin), Oskar Sala (Trautonium) und Ragnhild Lefstad (Klavier) gaben Musik zum besten, betreut vom Ingenieur Liebau vom HHI.

Wie schon erwähnt, wurde das erste Modell des Vierlingschen Elektrochords 1932 auf der Berliner Funkausstellung gezeigt. Die Musikpresse urteilte:

„Das Instrument, das durch Ausschaltung des natürlichen Resonanzbodens und dementsprechend leichterem Bau kleiner und billiger als ein normaler

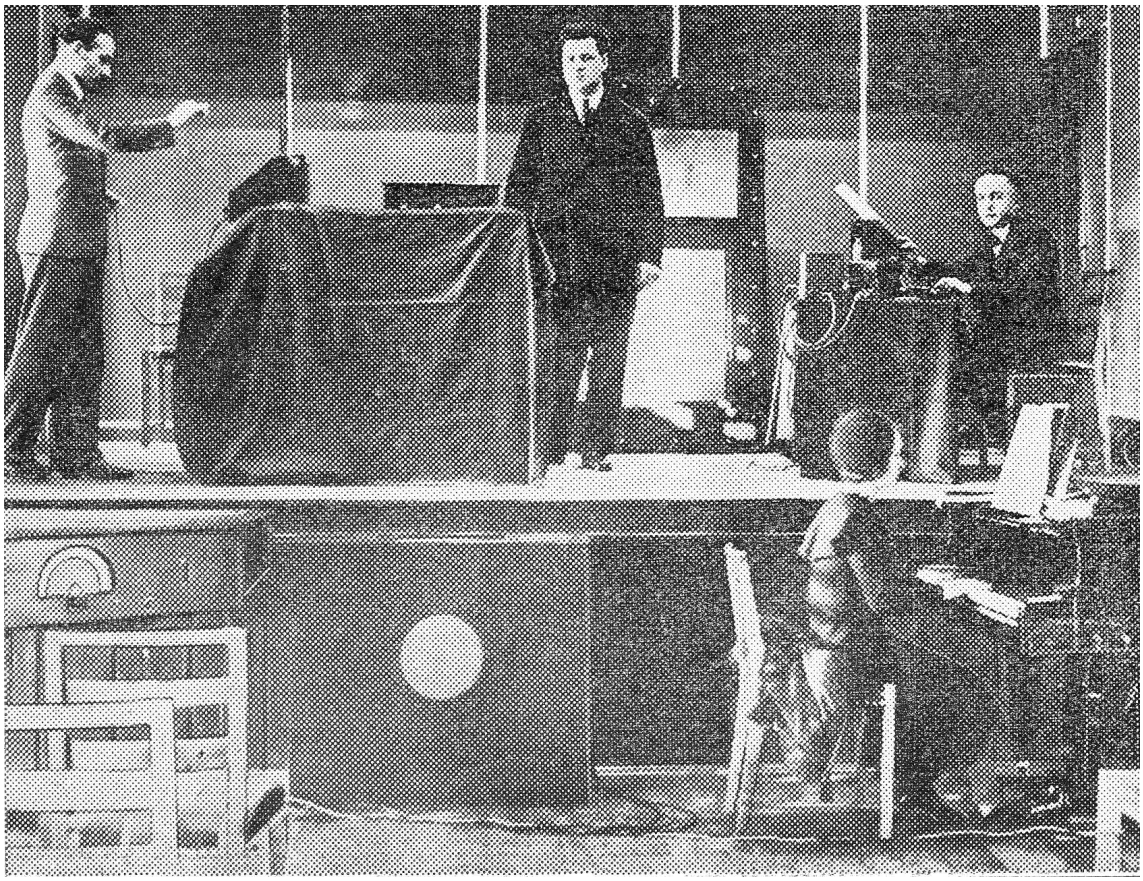


Abbildung 32.5:
Die Bühne im Ingeniørenes Hus, Oslo,
mit dem Theremin, dem Trautonium
und einem Neo-Bechstein (links im Bild).

Radiobladet **9. Jg.** (1932), Heft 50, S. 3.

> *Flügel ist, übertrifft das übliche Klavier bei weitem an Tonschönheit und Tragfähigkeit des Tones. . . . Die Möglichkeit der Klangfarben-Differenzierung lässt sich bei geringeren Veränderungen zur Abstimmung des Klangcharakters für verschiedene Komponisten und Werkgattungen, sowie zur rechten Abschattierung des Instruments für die Anschlagsart des Spielers ausnutzen – bei bestimmter Einstellung befähigt sie aber auch dieses elektrische Tasteninstrument, täuschend den Klang von Streich- und Blasinstrumenten wiederzugeben.“*

Interessant wäre auch ein Diskant-Auffrischungsapparat für den bereits strapazierten Hausflügel und der Versuch Vierlings am HHI, einfache Kinderspielzeug-Klaviere zu elektrifizieren, damit sie an einen Rundfunkapparat angeschlossen werden können.[42] Lobend

[42] Epstein, Margot: Neue elektrische Musikinstrumente, a.a.O.

auch die Deutsche Allgemeine Zeitung: „Zum Unterschied von Nernst benutzt Vierling nicht nur die Transversalschwingungen der erregten Saite, sondern auch die allmählich auftretenden sogenannte Zirkularschwingungen. Dadurch, daß die Magnete in ihrer Stellung zu den schwingenden Saiten verändert werden können, erreichte Vierling den oben beschriebenen Klangeffekt. Dieser Flügel, die elektrische Geige und das elektrische Cello sind als Versuchsinstrumente im Heinrich-Hertz-Institut behelfsmäßig zusammengebaut worden. Sie sind durchaus kein wissenschaftliches Spielzeug, sondern Ergebnis ernsthafter Forschung“. Peinlicher Weise bringt diese Zeitung ein Detailfoto vom Neo-Bechstein mit der Bildunterschrift „Der elektrische Flügel von Vierling“.[43] Fritz Winckel (später Professor an der TU Berlin und während seiner Ausbildung zur fraglichen Zeit in Berlin) schrieb in der Zeitschrift „Die Umschau“ nicht nur über den Neo-Bechstein, sondern auch über das Elektrochord. Er beschreibt eines der Versuchsstadien: „Es handelt sich um ein zweichöriges Instrument, d. h. zu jedem Ton gehören zwei Saiten. Aber es wird jeweils nur eine Saite durch den Klavierhammer angeschlagen, während die andere durch Resonanz in Schwingung gerät. Die elektrische Abnahme der Töne geschieht durch Magnetsysteme, von denen je eines für zwei Töne angeordnet ist. Auf einem derart gebauten Instrument kann man leicht vom Klavier zum Orgelspielen übergehen“.[44] Der Artikel erschien 1933 zu einem Zeitpunkt, zu dem Vierling bereits zur elektrostatischen Tonabnahme übergegangen war. Über die künstlerische Qualität des Elektrochord wurde wenig geschrieben. Orgel- und Blasinstrumententöne auf einem Klavier müssten schließlich auch musikalischen Sinn ergeben. In einem Beitrag findet sich eine diesbezügliche Wertung:

> *„Das Elektrochord ist die Erfüllung des vom Künstler seit jeher erträumten orchestralen Soloinstrumentes. Für die musikalische Auswertung soll es eine bewußte technische Weiterentwicklung des mit Recht so beliebten Klaviers sein. Ebenso wie man nach der Erfindung des Hammerklaviers alle Kompositionen, die für Clavichord und Cembalo geschrieben waren, gern auf dem Klavier zum Vortrag bringt, soll auch das Elektrochord der bestehenden Klavierliteratur neue, noch größere Ausdrucksmöglichkeiten als bisher bieten.“*[45]

32.6 Die Entwicklung ab 1933

Die politische und gesellschaftliche Entwicklung ab 1933 brachte einschneidende Änderungen auch im wissenschaftlichen Bereich mit sich. Abgesehen von radikalen „Säuberungen“ im Personalstand wurde die „Schwesterorganisation“ an der Musikuniversität, die Rundfunkversuchsstelle schlussendlich 1935 geschlossen.

Natürlich blieb auch das HHI nicht von Säuberungen verschont. Der Anwesenheit mehrer jüdischer Mitarbeiter am Institut wegen witzelte man in NS-Kreisen über die

[43] Elektrische Musik auf der Funkausstellung. In: Kraft und Stoff, Beilage zur Deutschen Allgemeinen Zeitung **Nr. 34** vom 25.8.1932.
[44] Winckel, Fritz: Das Klavier als Orchester. In: Die Umschau **37. Jg.** (1933), Heft 15, S. 285.
[45] Das Förster-Elektochord. In: Deutsche Instrumentenbau-Zeitung vom 25.9.1932, S. 299.

„Heinrich-Hertz-Synagoge“.[46] Mit Beginn des Jahres 1936 verschwand der Name „Heinrich Hertz“ aus dem Institutstitel, der nun „Institut für Schwingungsforschung“ lautete,[47] womit der radikale Umbruch am Institut begann. Gustav Leithäuser wurde in den vorzeitigen Ruhestand versetzt, da seine Frau „Halbjüdin“ war. Insbesondere aber gegen den Direktor, K. W. Wagner setzte eine lange, aggressive Hetze ein, in deren Verlauf mit konstruierten Vorwürfen versucht wurde, ihn zu diffamieren (u. a. ging es um den Ankauf einer Spezialkamera). All dies endete nach einer Betrugsanzeige beim Staatsanwalt, einem Dienststrafverfahren und einem Verfahren beim Parteigericht[48] schließlich im Februar 1936 mit Wagners Abberufung. Seiner Meinung nach kamen als Denunzianten nur seine Sekretärin und sein Vertrauensmann in Frage. Wagner wehrte sich mit allen Mitteln gegen die Anschuldigungen und erreichte zumindest, dass er 1943 als Wissenschaftlicher Berater einer Forschungsgruppe beim Oberkommando der Kriegsmarine wieder eingesetzt wurde.

1933 organisierte das HHI bei der Funkausstellung nochmals eine Präsentation der Elektrischen Instrumente, die letzte ihrer Art. Wieder waren bis auf Mager alle verfügbaren Instrumente auf der Bühne vereinigt. Im Hintergrund war jedoch der eigentliche „Zugmagnet“ der Schau, der Volksempfänger zu einer Kulisse aufgeschichtet, zu sehen. In der Folge verhinderte die Instrumentalisierung der Funkausstellung zu einem Propagandavehikel die weitere Präsentation der Elektromusik.

32.7 Die „KdF Großtonorgel“

Vierling arbeitete unermüdlich am HHI an neuen Instrumentenkonstruktionen. Ohne großes Aufsehen zu erregen, hatte er mittlerweile seine Versuche mit elektrischen Orgeln soweit vorangetrieben, dass 1934 ein erstes, brauchbares Exemplar fertig war.[49] Nicht rechtzeitig jedoch, um auf der Funkausstellung gezeigt zu werden. Auch im folgenden Jahr war es öffentlich noch nicht präsent. Vierling war allerdings mit dem Instrument noch nicht recht zufrieden, da es bei weitem nicht musikalischen Ansprüchen genügen konnte.[50] Erst 1936 kam die (dann unter anderem mit Mitteln der NS Organisation „Kraft durch Freude“ und des Amtes „Feierabend“) errichtete „KdF Großtonorgel“ prominent heraus.

[46] Korrespondenz anlässlich der Amtsenthebung, a.a.O.

[47] Ebenda. Außerdem: Noll, P.: Nachrichtentechnik an der TH/TU Berlin, `http://www.nue.tu-berlin.de/history`.

[48] Wagner war 1933 der NSADAP beigetreten, um einer „Gegnerschaft, die vorauszusehen war, ein Paroli zu bieten“, wie in einer „Eidesstattlichen Erklärung“ vermerkt ist. Einen „Beitritt als förderndes Mitglied der SS“ verdankte Wagner der Tatsache, dass er seinem Assistenten Vierling monatlich RM 3.- bewilligte, um Schulungsgeräte für den Nachrichtensturm der SS anzuschaffen, der Vierling angehörte. In: Korrespondenz anlässlich der Amtsenthebung, a.a.O.

[49] „Deutschlands Pionierarbeit auf dem Gebiet der elektrischen Musik“, a.a.O.

[50] Vierling, Oskar: Praktischer Einsatz der elektrischen Orgel auf der Dietrich-Eckart-Bühne und auf der Rundfunk-Ausstellung, Elektrotechnische Zeitschrift **58. Jg.**, Heft 4 vom 28.1.1937, S. 90.

Abbildung 32.6:
Die Bühne mit Elektrischen Instrumenten bei der Funkausstellung 1933.
Links Oskar Sala am Trautonium,
in der Mitte Oskar Vierling am Elektrochord,
rechts Erich Zitzmann-Zirini am Theremin.

Umschau **50. Jg.** (1950), Heft 4, S. 124.

Vierling hatte gemeinsam mit Winston E. Kock[51] an der Orgel gearbeitet. Kock war ab 1933 „Exchange fellow“ an der Technischen Universität Berlin (sein Gegenpart war Sigismund von Braun, Wernher von Brauns älterer Bruder).[52] Er schrieb an einer Dissertation über Schwingungen in Glimmlampen-Kreisen und fand im liberalen HHI unter Wagner einen idealen Platz für Forschungen. Kock verließ Berlin 1934 nach seiner Promotion und widmete sich anschließend in den USA weiteren Forschungen über elektronische Instrumente, die in mehr als 80 Patenten dokumentiert sind. Darunter findet sich eines[53] über eine Frequenzteilerschaltung, die es ermöglichte, Oktaven starr zu synchronisieren, was den Aufwand an Stimmungen stark vereinfacht. In Vierlings Habilitationsschrift „Ei-

[51] Winston E. Kock, 1909–1982.

[52] Siehe Braun, H.-J.: Strange bedfellows. The relationship between music technology and military technology in the first half of the twentieth century. In: Global village-global brain-global music, Osnabrück 2003.

[53] US 2128367 „Electrical musical instrument of the type employing gaseous discharge tubes”.

Abbildung 32.7:
Mitarbeiter des HHI beim Zusammenbau der „Großtonorgel“

Privatbesitz.

ne neue elektrische Orgel“ (1938) ist davon keine Rede, sodass anzunehmen ist, dass die Oktaven nicht synchronisiert waren, zumal Vierling von einem großen Aufwand zur Stimmung schreibt. Es ist jedenfalls davon auszugehen, dass Vierling bei seiner Arbeit sowohl von Miessner, als auch von Kock profitierte (der erwähnt ihn jedoch nicht in seinen Publikationen). Beide entwickelten in den Vereinigten Staaten eine beachtliche Aktivität in der Weiterentwicklung elektronischer Instrumente (was sich letztendlich auch in der Anzahl der Patente manifestiert). Dazu hatte sichtlich auch beigetragen, dass im Unterschied zu Deutschland die Absatzmöglichkeiten für diesen Typ Instrument unvergleichlich höher waren: Miessner nennt für 1935 Einzelhandelsumsätze von zwei Millionen Dollar in den Vereinigten Staaten,[54] im Vergleich dazu waren in Deutschland die einzigen in Serie produzierten elektrischen Instrumente (der Neo-Bechstein und das Volkstrautonium) kaum absetzbar. Die Verhältnisse sind wohl auch aufgrund der verschiedenen musikalischen Traditionen und des Zivilisationsbruchs nach 1933 in Deutschland kaum vergleichbar.

[54] Miessner, B. F.: Electronic Music and Instruments, in: Proceedings of the IRE, Band 24, `http://ieeexplore.ieee.org/xpl/tocresult.jsp?isnumber=35522&isYear=1936` Nr. 11, November 1936, S. 1427–1463.

Dies mag wohl auch der Grund dafür sein, dass der später erwähnte Harald Bode erst in den Vereinigten Staaten nachhaltig reüssieren konnte.

Miessner war wohl der aktivste amerikanische Counterpart zu Vierling. Er gründete 1930 ein Labor für elektronische Musik in Millburn und begann dort „alle denkbaren Instrumente zu elektrifizieren“.[55] Die Analyse der amerikanischen Patentanmeldungen zum Thema Elektrifizierung des Klaviers zeigen für einen kurzen Zeitraum (Anfang der 1930er Jahre) einen intensiven Gedankenaustausch mit Vierling. Anders als Kock, der in seinem Buch „The Creative Engineer“ Vierling mit keinem Wort erwähnt, zählt Miessner in einem etwa 40seitigen Artikel,[56] den er 1936 verfasste, die Arbeiten zahlreicher deutscher Entwickler auf. Er hatte anscheinend zu dieser Zeit keine Ressentiments Deutschland gegenüber, was sich auch daran zeigt, dass er sich 1939 vehement gegen eine Versammlung betreffend eine Resolution zum Boykott deutscher Waren in einer Schule einsetzte: *„If these Communist Jews want to rail against the Germans or the German Americans let them hire a hall as others do.“*[57]

Zurück zur KdF-Orgel. Durch umfangreiche Experimente wurde eine passende Glimmlampe für eine Schwingungsschaltung gefunden, mit der die störende Spannungsabhängigkeit der Frequenz hintan zu halten war. Dadurch wurde eine gewisse Stimmungskonstanz erreicht, was für den praktischen Gebrauch unabdingbar war. Verbilligung der Bauteile und Flexibilität in der Lautstärkegestaltung galten als Hauptmotivation für die Konstruktion der Orgel. Dazu kamen neue Ideen zur Klangfarbengestaltung: Arbeitspunktverschiebungen beim Betrieb der Glimmlampen (zu nichtlinearen Teilen der Kennlinie hin) sollten eine einfache Klangfarbenänderung ermöglichen.[58]

Leider ist von der Vierling-Orgel kein eigenes Tondokument erhalten. Lediglich bei der Aufnahme der Oper „Margarethe“ von Charles Gounod vom 6. März 1938 ist die Orgel an zwei Stellen der „Kirchenszene“ (4. Akt) sehr gut zu hören. Ein weiterer Einsatz ist zwei Wochen später am 21. März anlässlich des „Tages von Potsdam“ in der dortigen Garnisonskirche belegt.[59] Die alte Barockorgel war durch ihre Stimmung im Chorton zu tief für die Aufführung eines Händel-Oratoriums, sodass man sich zum Einsatz des elektronischen Instruments entschloss. Es soll so täuschend ähnlich der Barockorgel geklungen haben, dass man sie in Zeitungsartikeln damit verwechselte.

1936 wurde die Orgel bei den Olympischen Spielen auf der „Dietrich Eckart Bühne“ mehrfach eingesetzt und anschließend bei der Berliner Funkausstellung aufgestellt. Goebbels probierte das Instrument bei der Eröffnungsveranstaltung höchstpersönlich. Vierling spielte bei der Ausstellungseröffnung selbst das Instrument und war damit auch im Rundfunk zu hören. Zwischenzeitlich wurde die Orgel auch für Aufnahmen zum Film „Maria, die Magd“ in den Studios der Jofa-Tonfilm verwendet.

[55] Rhea, T. L.: The evolution of electronic musical instruments. Dissertation am George Peabody College for Teachers 1972, S. 107ff.
[56] Miessner, B. F.: Electronic Music and Instruments, a.a.O.
[57] Grover, W.: Nazis in Newark. New Brunswick 2003, S. 253.
[58] Vierling, Oskar: Die elektroakustische Orgel, ZS des Vereines deutscher Ingenieure **Bd. 78** (1934), Nr. 42, S. 1217ff.
[59] Jahresbericht des HHI von 1938, S. 34.

Abbildung 32.8:
Winston E. Kock und Oskar Vierling
vor dem ersten Modell ihrer Glimmlampen-Orgel.
Sie konnte aus Zeitgründen nicht auf der Funkausstellung 1934
gezeigt werden, sondern nur im kleinen Kreis am HHI.

Funkschau 1934, Nr. 37 vom 9.9.1934.

32.8 Beschallung von Massenveranstaltungen

Die vom NS Regime inszenierten Massenveranstaltungen stellten an die Beschallungstechnik völlig neue, vorher nicht gekannte Anforderungen. Dabei war für die Stadtbeschallungssysteme, die amphitheater-ähnlichen Thingstätten, für Aufmärsche und große Freiflächen wie das Zeppelinfeld in Nürnberg unterschiedlich vorzugehen. Elektrische Instrumente wurden dabei öfters eingesetzt, da sie unmittelbar ohne Einsatz eines Mikrofons an die Verstärkeranlagen angeschlossen werden konnten. Trautwein und Vierling erschienen in dem Zusammenhang immer wieder in einer Vorreiterstellung. Ein Beispiel sei in dem Zusammenhang erwähnt: Vierling beschrieb 1938 eine besonders spektakuläre Lautsprecherinstallation. Anlässlich der Wintersonnenwende sollte auf der Burg zu Nürnberg eine Großanlage errichtet werden, die den Kundgebungsplatz, der auf der Burgfreyung vorgesehen war, und die nähere Umgebung mit Schall zu versorgen hätte. Dazu wurden auf dem „Vestnerturm“ Trichterlautsprecher montiert und zusätzliche Lautsprecher bei 43 „Sippenfeuern“ beim Stadtring. Die Zentralanlage wurde mit 5000

Abbildung 32.9:
Propagandaminister Goebbels „probiert“ die Großtonorgel anlässlich der Eröffnung der Funkausstellung

Funkstunde **13. Jg.** (1936), Heft 36.

Watt bespielt (drei Verstärker mit 1000 Watt und zehn zu 200 Watt), die Feuerstellen mit insgesamt 2000 Watt. Das Ergebnis war, dass in einem Umkreis von 600 Metern noch ausreichende Verständlichkeit gegeben war. An bevorzugten Stellen konnte man sogar bis 5 km Abstand noch etwas hören. Um störende Rückkopplungen beim Sprechen auszuschalten, wurden jeweils zwei Mikrofone in geringem Abstand gegenphasig zusammengeschaltet, sodass das Hintergrundgeräusch durch Interferenz ausgelöscht wurde. Der Redner sprach mit kleinem Abstand nur in eines der beiden Mikrofone, sein Schallsignal wurde daher nicht ausgelöscht und war somit zu hören. Aufgrund der Hörkurve des menschlichen Ohres war ein lautstärkeabhängiger Frequenzausgleich bei der Übertragung notwendig.[60]

[60] Vierling, Oskar: Erfahrungen mit einer 5 kW Großlautsprecheranlage auf der Burg zu Nürnberg. In: Akustische Zeitschrift **3. Jg.** (März 1938), S. 93ff.

32.9 Arbeit abseits der Öffentlichkeit: Harald Bode

Der Hamburger Harald Bode[61] studierte zuerst Physik an der dortigen Universität bis 1934 und anschließend an der Technischen Universität Berlin, wo er am HHI (das damals bereits der TU angegliedert war) Oskar Vierling kennen lernte. Bode stammte aus einer musikbegeisterten Familie und wurde durch den ersten Kontakt mit einem „Emicon“ (ein elektrisches Instrument) dazu angeregt, selbst ein solches zu bauen. Es war dies die „Warbo Formant – Orgel“, die Ende November 1937 nach halbjähriger Bauzeit der Presse präsentiert wurde. Kurz darauf folgte 1938 das nächste Instrument, das eine anschlagsdynamische Tastatur besaß, jedoch einstimmig war: das „Melodium“, das Bode gemeinsam mit Vierling entwickelte.[62] Bode erzählte Jahre später über die weitere Entwicklung: *„The Melodium became quite successful; it was played with the Berlin Philharmonic orchestra as a solo instrument, and was also used prominently for motion picture music.“*[63] Mit den Berliner Philharmonikern zu spielen war eine Auszeichnung, die nur noch dem Trautonium zuteil wurde. Das Instrument wurde (insbesondere vom Filmkomponisten Wolfgang Zeller) in Spielfilmen der späteren 1930er Jahre verwendet, um Traumszenen, Selbstmorde, Wahnideen oder ähnliches akustisch zu symbolisieren.[64] Trotzdem war es im Wesentlichen in der Öffentlichkeit still um Harald Bode. Der Krieg unterbrach zudem seine Aktivitäten auf dem Instrumentensektor. Von 1939 bis 1945 war er bei der „Opta-Radio AG“ in Berlin in verschiedenen Forschungsgruppen zur Entwicklung militärischer Elektronik tätig.[65] Seine wahre Karriere begann erst nach dem Kriegsende 1945 mit dem Polychord (gebaut vom „Apparatewerk Bayern“, verwendet u. a. im Elektronischen Studio des Nordwestdeutschen Rundfunks in Köln), das erste Patent erhielt er erst Mitte 1950.[66] Er übersiedelte 1954 in die USA und wurde dort zu einem bedeutenden Protagonisten elektronischer Instrumente.

32.10 Das Ende der Entwicklung elektronischer Instrumente am HHI

Vierling trennte sich 1938 vom HHI. Er nahm nach seiner Habilitation eine Stellung an der Technischen Hochschule in Hannover an. Das war zugleich aber auch das Ende der Entwicklungstätigkeit elektronischer Instrumente am HHI: mit Vierlings Ausscheiden

[61] Harald Bode, 1909–1987.

[62] Bode, Harald: Bekannte und neue Klänge durch elektrische Musikinstrumente. Sonderdruck aus „FTM“ 1940, Heft 5 und „Funk“ 1940, Heft 9 und 10. Archiv de Akademie der Künste, Berlin, Signatur 172.

[63] Lee, J.: Interview Harald Bode. In: Polyphony, Ausgabe vom September/Oktober 1981, S. 14ff.

[64] Siehe dazu Donhauser, Peter: Elektrische Klangmaschinen, a.a.O.

[65] Biografische Notizen nach Journal of the Audio Engineering Society **Band 9** (Oktober 1961), Nr. 4, S. 267 und Polyphon, Ausgabe September/Oktober 1981. Zum Firmennamen: Die ehemalige „Loewe-Radio AG“ wurde nach der Enteignung Dr. Siegmund Loewes im Zuge der „Arisierung“ 1938 in „Opta-Radio AG“ umbenannt und vom Reichsluftfahrtministerium geführt. Erst 1949 erhielt Loewe seinen Betrieb zurück und nannte ihn nun „Loewe-Opta“.

[66] Bodes erstes Patent: DE 861187.

wurde die bisher aktive Gruppe „Elektrische Musik“ aufgelöst, „da die Bedeutung dieses Gebietes eine besondere Gruppe nicht rechtfertigt“.[67] Lediglich einmal traten Vierlings Orgel und das Elektrochord nochmals in Erscheinung: anlässlich der Aufnahmen für das Pausenzeichen der Reichsrundfunkgesellschaft, ebenfalls im Jahr 1938.

Vierling engagierte sich während des Krieges besonders für elektronische Hilfsmittel für die Wehrmacht. Auf seinem Grundstück 2 km westlich von Ebermannstadt ließ er 1941 aus Wehrmachtsmitteln ein burgähnliches Gebäude zur Tarnung für ein neues Institut errichten („Burg Feuerstein“), in dem Sprachverschlüsselung (auch unter Verwendung synthetischer Sprache, einem Forschungsgebiet, das Vierling schon im HHI beschäftigte), Höchstfrequenztechnik und Unterwassermikrofone entwickelt wurden. Die Lage wurde gewählt, weil dort weit ab von Hochspannungsleitungen und anderen Störquellen eine optimale Voraussetzung für Hochfrequenzversuche bestand. Während seiner Arbeit in der Burg vertrat ihn Fritz Sennheiser an der Hochschule in Hannover.[68]

Vierling nahm nach Rückkehr aus amerikanischer Internierung in Ebermannstadt die Arbeit in der Elektronikbranche wieder auf[69] Was die elektrischen Instrumente betrifft, wurden im Vierlingschen Betrieb vorerst elektronische Orgeln gebaut. Seine „VO 2“ wurde z. B. 1958 anlässlich der Einweihung der Stadthalle von Olpe gespielt. 1960 wurde auf Betreiben Karajans eine „VO 10“ für das Festspielhaus in Salzburg zu Eröffnung angeschafft (Karajan kannte Vierling von einem Projekt in Berlin, bei dem es um die elektroakustische Verbesserungen des Zuschauerraums des Opernhauses Unter den Linden ging[70]). Die Produktion elektronischer Orgeln wurde aber bald danach eingestellt. Vierling selbst beschäftigte sich später (2 Jahre vor seinem Ableben im Jahr 1986) noch einmal mit dem Elektrochord, nachdem das Instrument aus Berlin ins Deutsche Museum München kam: der elektrische Teil wurde in seinem Betrieb spielbereit gemacht.

[67] Tätigkeitsbericht des HHI aus dem Jahr 1938, S. 5.

[68] Interview Fritz Sennheiser mit dem Autor am 31.3.2004.

[69] Fritz Sennheiser im Interview mit dem Autor am 31.3.2004: *„Er ist leider nicht an die Hochschule zurückgekommen nach dem Kriege, denn er musste, um überhaupt Professor zu werden, in irgendeine NS Organisation. Er war vollkommen unpolitisch, das habe ich genau gesehen. Und er hatte sich sozusagen das billigste ausgesucht, er ist in die Reiter-SS gegangen. Die sind am Wochenende einmal ausgeritten und damit war das erledigt. Aber es hat ihm das Genick gebrochen und er hat dann einen privaten Betrieb aus dem Damaligen gemacht.“*

[70] Vierling, Oskar: Elektrisch verbesserte Raumakustik. In: Akustische Zeitschrift **6. Jg.**, (März 1941), 2. Heft, S. 86ff.

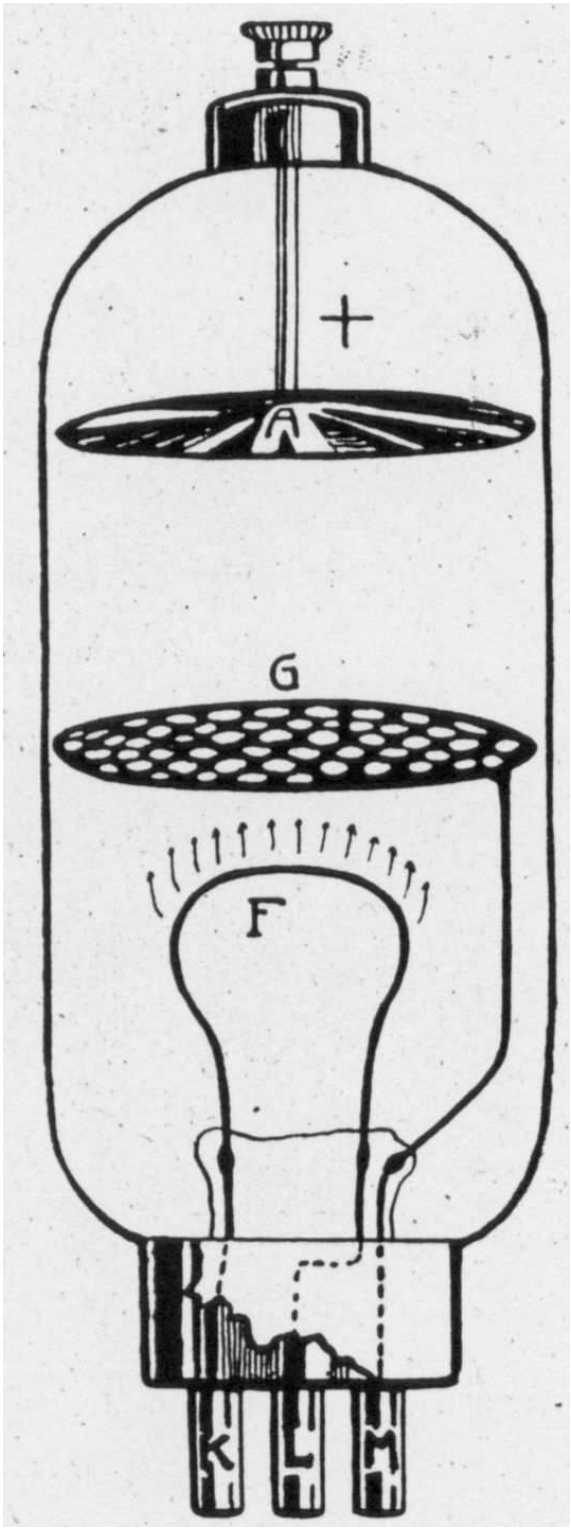


Figure 33.1:
Sketch of an electron tube ("radio" – or amplifying tube)
Günther, H. und F. Fuchs: Der paktische Radioamateur. Stuttgart (2nd ed.) 1923. [1]

Development of electronic tubes

Joachim Goerth (Hamburg)

Abstract: Entwicklung von Elektronenröhren

Dieses ist ein kurzer Abriss der Entwicklung eines elektronischen Bauelementes, das die Entwicklung der Technik bis zum heutigen Stand entscheidend mitbestimmt hat. Die Hertz'schen Wellen kamen mit Hilfe der Röhren in breite Anwendung. Grosse Teile der Radio- und Nachrichtentechnik, der Rechnertechnik und der Industrieautomatisierung wurden erstmals mit Röhren zu technischen Systemen durchentwickelt. Auf die so gewonnenen Erkenntnisse bauen wir noch immer, wenn auch die Röhren selbst grösstenteils durch Halbleiter ersetzt wurden.

This is a short story of a component which strongly influenced the development of the state of the art we find today. Wide parts of communications, computer technology and industrial control were first developed into technical systems using electron tubes. The knowledge thus gained is still of great importance, even though tubes have been replaced by semiconductors in most fields. Hertzian waves were introduced into broad application using electron tubes.

33.1 Technical Function

An electron tube is mainly looked at as the amplifying or "radio" tube shown in Fig. 33.1. There is an electron source or cathode, designated "F" a plate or anode, designated "A" an a control grid "G", all enclosed in a vacuum vessel.

By means of an electrical control voltage between grid and cathode the electron current from cathode to anode can be controlled. Thus the tube is a unilateral controllable current source and can be used as amplifier, rectifier or a switch. These properties offered by the tube open entirely new fields of application.

33.2 The Predecessors

The first tube of this kind was patented in 1907 by Lee de Forest (1873–1961). But there were tubes before used in research and technical application.

In the second half of the 19^{th} century there was a lot of research on gas discharges. A well known manufacturer of gas discharge tubes was Heinrich Geissler (1814–1879), and eventually these tubes were called "Geissler"-tubes. Because of the the impressive light effects of the Geissler tubes they were manufactured for demonstration and entertainment, too. Fig. 33.2 shows demonstration tubes taken from a catalogue of about 1910.

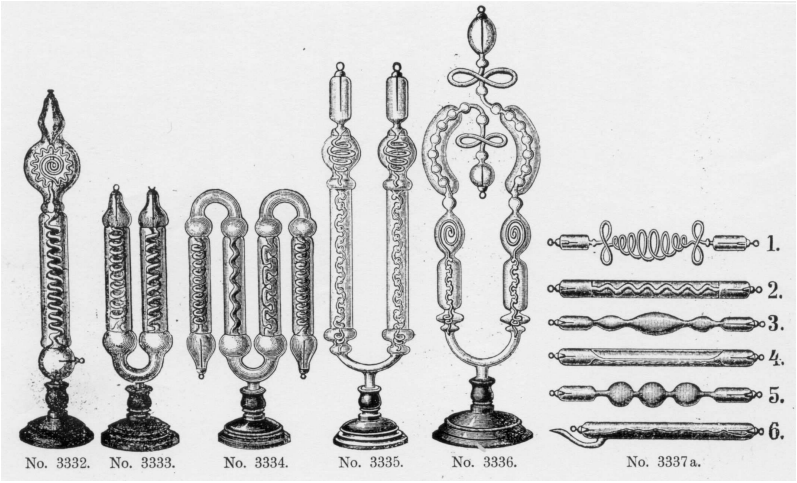


Figure 33.2:
"Geissler"- tubes for demonstration and entertainment
Gundelach, Emil: Catalogue "Physik". Gehlberg 1909. [2]

A second tube related product already in us at that time was the incandescent lamp, which at the beginning of the 20^{th} century was producesd in quantities. Thus gas discharge tubes and incandescent lamps gave the technological background for the first tubes in practical use.

The first tubes to come into wide application were the X-ray or "Röntgen"-tubes. The industrial production started in 1986 soon after the discovery of the X-rays by Röntgen in late 1895.

Fig. 33.3 a) gives a sketch of Röntgens first tube, which used the glass wall opposite to the cathode as retarding material to convert the kinetic energy of the electrons into X-rays. Fig. 33.3 b) shows a tube of the state of the art in 1905, which already is a well constructed industrial product. Both tubes are ion tubes, i. e. the electrons come from a gas discharge, where ions are present. Such tubes dont have a high vacuum (which by the way could not be produced at that time), but they needed a minimum amount of gas pressure to keep up the gas discharge.

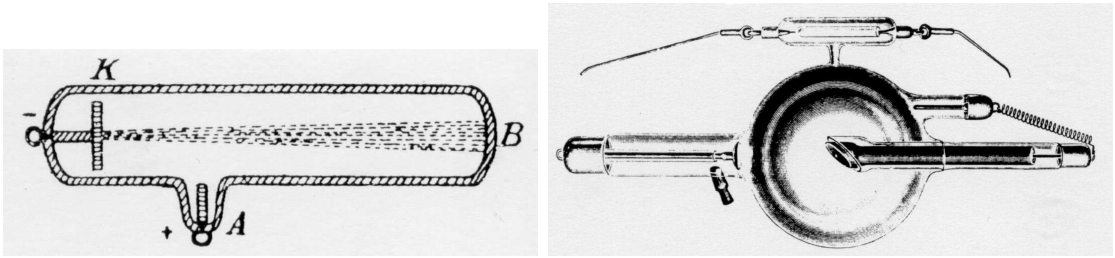


Figure 33.3:
Röntgen tubes: a) sketch of Röntgen's original tube
b) industrial product about 1905

Marx, E.: Handbuch der Radiologie, Vol. 5, Röntgenstrahlen. Stuttgart 1919. [3]
Gundelach, Emil: Catalogue "Röntgenröhren". Gehlberg, not dated. [4]

In the age of emerging electrical power supply rectifying tubes came into use mainly to charge accumulator from an AC supply. (most of the electrical power stations at that time were DC-stations). Fig. 33.4 a) shows the drawing of the mercury rectifier by Peter Cooper Hewitt (1861–1921) in 1902 [5]. Fig. 33.4 b) gives a drawing of the hot cathode rectifier of Wehnelt [6] in 1904, which was equipped with three anodes for three phase rectification as well. Fig. 33.4 c) finally shows the rectifier by John Ambrose Fleming (1849–1945) [7], which was used as detector in wireless equipment.

The mercury rectifier like the Röntgen tubes was an ion tube, whilst the tubes by Wehnelt and Fleming made use of electrons thermally emitted from a hot cathode.

An ion tube as well was the picture- (or indicating) tube by Karl Ferdinand Braun (1850–1918) in 1896, which is shown in Fig. 33.5 a) In this tubes the kinetic energy of the electrons is converted by means of a luminescent material into visisble light.

Fig. 33.5 b) gives an oscillogram taken by Jonathan Zenneck (1871–1959) in 1899 [9]. The deflection of the electron beam necessary to get a picture was generated magnetically by external deflection coils. (like it is done with TV picture tubes today)

33.3 The "Radio"- or Amplifying Tube

This most important type of electron tube emerged since 1906 from urgent demands of two fields of application: telephone systems and wireless transmission.

Since about 1880 the telephone was in general use and was a good supplement to the telegraph systems already existing. For telegraph systems there was an amplifier given by the electromagnetic relay. Thus long distance telegraphy was possible. But there was no amplifier for the telehone, and the distance even under good circumstances was limited to few hundreds of kilometers. Therefore many people tried to build a "telephone relay", and even mechanical telephone repeaters or relays were tested. Finally Robert von Lieben (1878–1913) came out with an electron tube, which at first (1906) was controlled magnetically, then in 1910 using a control grid. Fig. 33.6 a) shows this tube

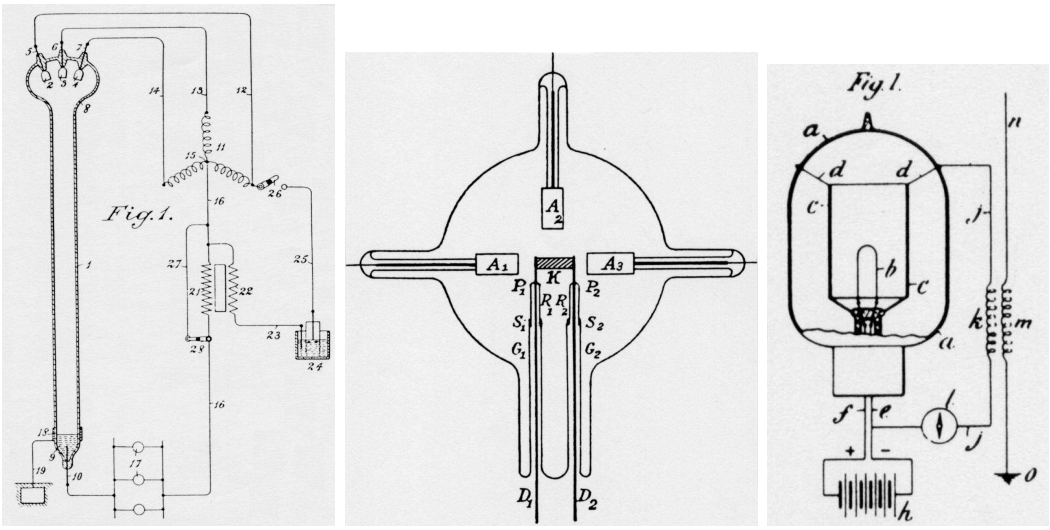


Figure 33.4:
Rectifying tubes:
a) Mercury rectifier by Hewitt 1902
b) Hot cathode rectifier by Wehnelt 1904
c) Detector by Fleming 1904

Hewitt, Peter Cooper: *Gleichrichter für Wechselstrom.* Deutsche Patentschrift 1157642, 1902. [5]
Tyne, Gerald F. J.: *Saga of the Vacuum Tube.* Indianapolis 1977. [6]
U. S. Patent No. 803684, taken from Tyne, Gerald F. J. 1977. [7]

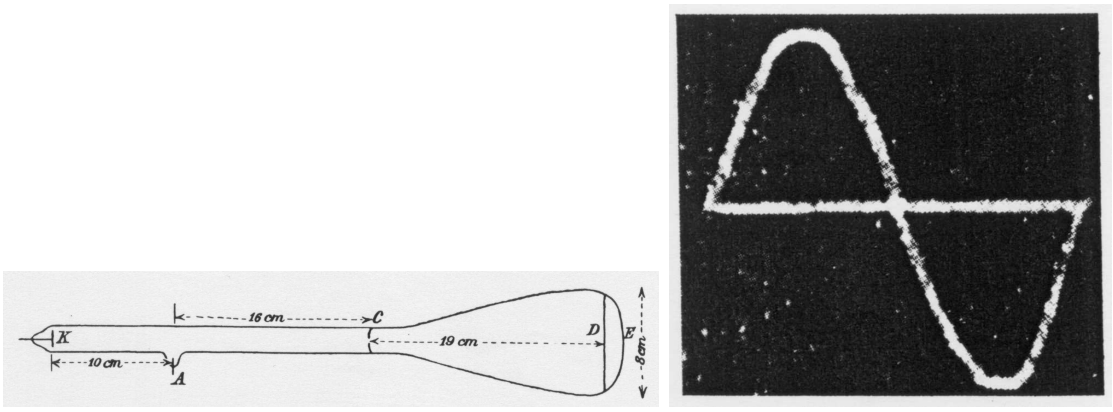


Figure 33.5:
a) Braun's tube 1896
b) oscillogram of a sine voltage taken by Zenneck in 1899

Annalen der Physik 1897, Vol. 60, taken from
Alberti, E.: *Braunsche Kathodenstrahlröhren.* Berlin 1932. [8]
Annalen der Physik 1899, Vol. 69, taken from Tyne, Gerald F. J. 1977. [9]

as an industrial product from about 1912. Fig. 33.6 b) gives an amplifier set up using such a tube.

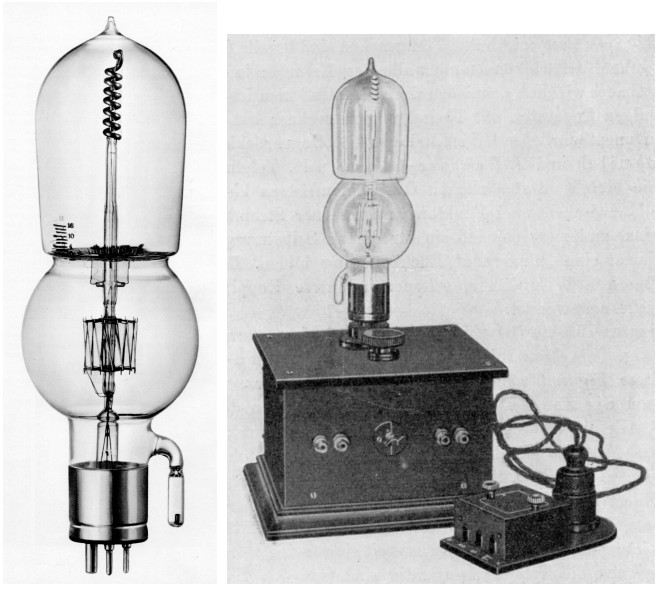


Figure 33.6:
a) Telephone "relay" by von Lieben
b) Amplifying set using this tube industrial product about 1912
50 Jahre TeKaDe. Nürnberg 1962. [10]

In Fig. 33.6 a) there can be seen a scale painted on the glass bulb by the operator of the amplifier. By means of this scale the proper operating point could be adjusted using the height of the light of the gas discharge inside the tube. This was necessary, because the tube enclosed gas of low pressure like the Röntgen tubes and therefore the electrical behavior was strongly dependant on gas pressure and thus temperature.

Since about 1900 the Hertzian waves came into practical use for wireless transmission. Very soon long distances were possible, but still there was a lack of a reliable and sensitive receiver or "wave detector". Various detectors were in use. The first tube detector was the rectifier of Fleming (see Fig. 33.4 c)), but the first big step forward was a tube using a control grid called "audion" invented by de Forest in 1907. Fig. 33.7 a) gives an industrial version of the audion and Fig. 33.7 b) shows a receiver equipped with it [12].

As well as von Lieben de Forest too believed that a minimum amount of gas was necessary for the function of the tube. Both inventors sold their rights to big companies: Von Lieben sold his Patent rights to a "Konsortium" consisting of Siemens, AEG, Telefunken and TeKaDe in Germany. De Forest sold his invention to AT & T in the USA.

This was the beginning of the scientific and industrial development of the amplifying tube. Names like Owen Willans Richardson (1879–1959), Irving Langmuir (1881–1957), Walter Schottky (1886–1976), Hendrik Johannes van der Bijl (1887–1948), Gustave Auguste Ferrié, Georg Heinrich Barkhausen (1881–1956) and others are connected to this

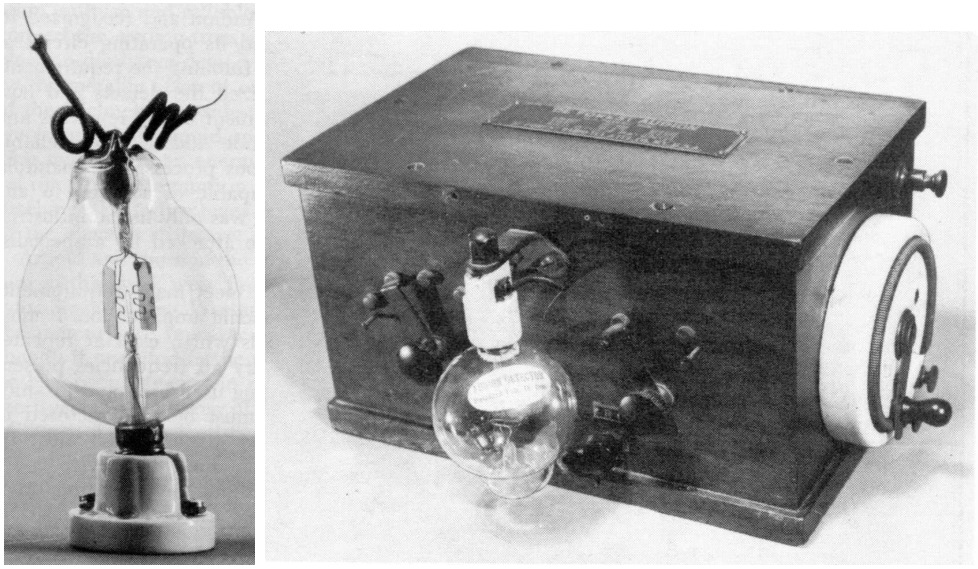


Figure 33.7:
a) "Audion" tube by de Forest
b) receiver using this tube

Tyne, Gerald F. J. 1977. [12]

Figure 33.8:
Amplifying tubes 1918:
a) VT 1, USA b) R, France c) R.E. 11, Germany

Photo taken from authors collection. [13]

period. Another point was the invention of the molecular pump by Wolfgang Gaede (1878–1945) in 1913, which at the first time made it possible to generate a real "high" vacuum, which consequently was used in almost any type of amplifying tube. The military demand on communications equipment in World War I was a big market, and consequently electron tubes were developed into well constructed products during the war. Fig. 33.8 shows three examples of tubes of the state at the end of the war of 1918.

After World War I the military market crashed. But the demand for telephone repeater tubes, tubes for commercial wireless transmission and especially sinc about 1920 the upcoming market for "radio" and broadcasting made the tube a commercially very promising product. Consequently the owners of the patent rights in the different countries started to prosecute non licensed manufacturers of tubes more or less rigidly.

Most tube manufacturers were lamp manufacturers as well, so there were cartel like contracts like in the lamp business.[14] In Germany for instance the number of tube manufacturers dropped from 10 in 1925 to only 4 in 1930 (Telefunken, Valvo, Loewe, TeKaDe) [15] because of patent processes initiated by the main patent owner Telefunken.

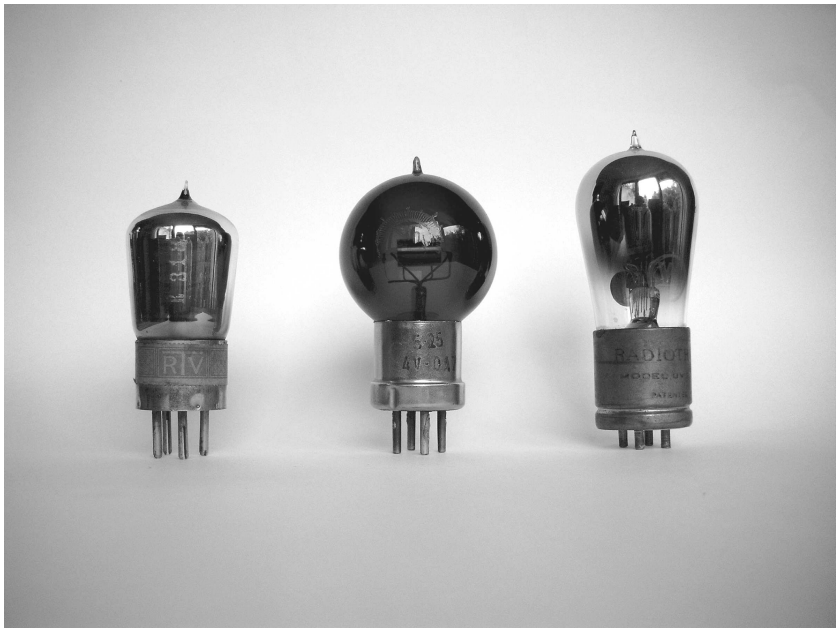


Figure 33.9:
Tubes with getter and thoriated filament.
From left: „Radioröhrenfabrik", later "Valvo", (Germany),
Radiofotos (France), Radio Corporation of America (USA)

See e. g. *A Tungsram R.T. Törtenete 1897–1945.* [14] Budapest 1987.

Tubes of about 1920 had a filament (cathode) made from pure tungsten, which needed a temperature of about 2200 degrees centigrade to have a sufficient emission of electrons. At this temperature ther is a bright glowing like in an incandescent lamp, so such tubes were also called "bright emitters" or simple "radiolamp". More or less by accident it was

found that a small amount of thoria added to the tungsten (which was known before from the lamp manufacture) enhanced the electron emission, so temperatures of only 1800 degrees were sufficient. Tubes with this type of filament are called "dull emitters". This enhanced effiency of the tube, but the thoriated filament was extremely sensitive to oxygen. To ensure the absence of oxygen the vacuum had to be much better than before. So the "getter" was introduced to improve the vacuum by binding residual gases to a thin deposit of metal vapor, then mostly magnesia. Tubes of this type can be recognised by their mirror-like deposit inside the glass bulb. Some companies hided the getter mirror by using coloured, mostly blue, glass. Fig. 33.9 shows some examples for such tubes.

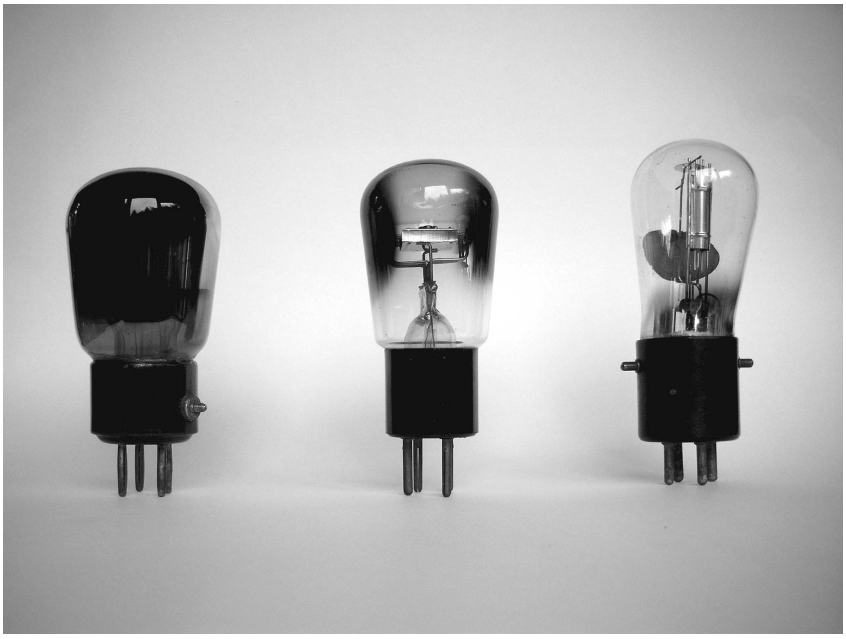


Figure 33.10:
Two tubes with barium oxide coated filament (left)
and indirectly heated tube

Goerth, J.: *Proliferation of Tube Types.*
IEEE Conference on the History of Electronics 2004. [15]

Further development of the cathode yielded two improvements, which came to market in 1927. Filaments were now coated with barium oxide and had sufficient electron emission at temperatures as low as 900 degrees centigrade. The related red glowing could hardly be seen and these filaments were called "dark" emitters.

The second improvement was the indirectly heated cathode, i. e. a thin metal tube coated with barium oxide as well was indirectly heated by an internal filament electrically isolated from the metal tube. These cathodes could be heated by AC voltage as well as by DC. Tubes with indirectly heated cathodes enabled the construction of radio sets with a power supply from AC mains. Fig. 33.10 shows two tubes with barium oxide coated filaments. The barium deposited was used as a getter as well, so thes tubes

have a more dark getter mirror. The right tube is an early tube with indirectly heated cathode with two additonal connectors for the filament.

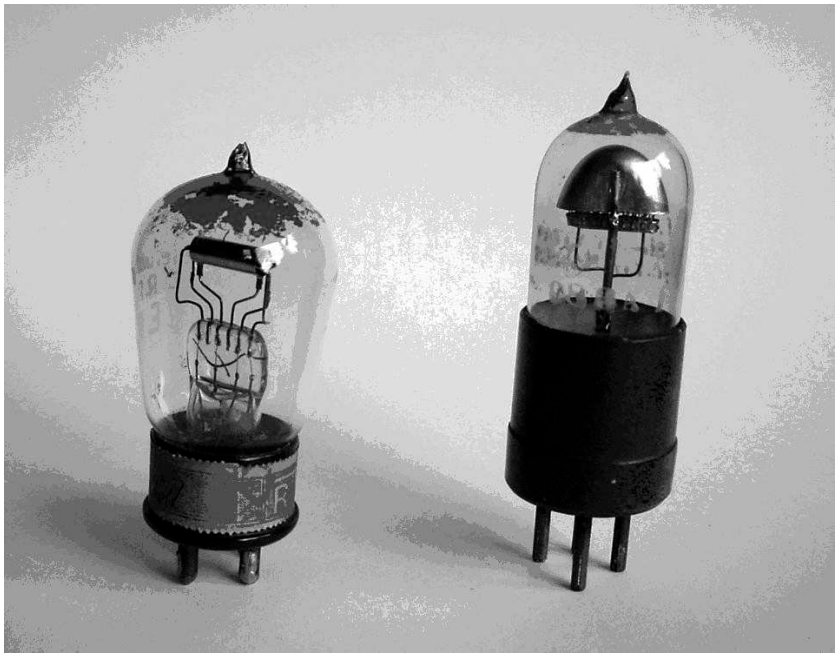


Figure 33.11:
Selected tubes with colour markings

Photos taken from authors collection. [16]

In the early times of radio tubes most tubes had similar data and could be used more or less in any stage of the receiver. The technical data showed a broad spread. If special properties were desired, tubes were selected by measurement from a whole batch an then marked with colour. Fig. 33.11 shows two selected tubes, the left specially suited for audion application and the right one for high frequency use.

The technical proceeding made specialized tubes necessary for optimizing different applications. First specialization gave power tubes for loudspeaker operation, tubes suited for either transformer- or resistor coupling of stages, space-charge-grid tubes for low plate voltage or screen-grid-tubes for high frequency application. Fig. 33.12 gives a power and a screen-grid tube as examples.

Up to about 1930 the standard receiving set or "radio" was an audion receiver, which was basically given by de Forest. From now on the superheterodyne principle took over. This type of receiver was principally known since about 1918, but needed more effort and therefore was restricted more or less to commercial application.

For this type of receiver new tubes had to be developed. Among these were mixing tubes, tubes with remote cutoff, demodulators and tuning aids, namely the "magic eye". Fig. 33.13 shows a German set of tubes dated 1935 for such a receiver. It is emphasized "german", because the tubes varied in different countries, especially the mixing tubes.

Figure 33.12:
Specialized tubes: power tube (left)
and screen-grid-tube (right)

Photos taken from authors collection. [17]

The following development aimed mostly at improvement of electrical properties, e. g. low noise or high cutoff frequency and on the other hand at improvement of the manufactoring process. Examples are tubes with metal bulb instead of glass. Finally tubes with a bulb made totally from glass without a special socket were built. Fig. 33.14 shows examples of tubes developed up to 1940.

During World War II the development of radio tubes was superseeded by the development of tubes for military demands.

After the war the glass tubes reappeared in the radio sets. Fig. 33.15 shows a set of tubes for a standard radio receiver about 1955. This new construction was derived from military tubes which at first appeared in the USA in 1940. This was the appearance of radio tubes till the end of the radio tube era, which ended in the 1960^{es}.

33.4 Other Tubes

Till the end of World War I tubes were not too specialized. There were amplifying tubes and power tube up to some kilowatts for wireless transmission and amplification in military use. Tubes for telephone repeaters began to develop seperately and were e. g. in Germany manufactured by the Siemens company, whilst the standard tubes mostly were manufactured by Telefunken (AEG), Dr. Erich F. Huth and others.

In the USA, too, the telephone repeater tubes were manufactured after WW I mainly by Western Electric, and the tubes for radio application for the Radio Corporation of

Figure 33.13:
Set of tubes for hetererodyne receiver in 1935.
From the left: Mixing-, remote cutoff amplifying-,
demodulator- plus audio-amplifier-tube,
"magic eye", power tube, mains rectifier tube.

Photos taken from authors collection. [18]

America by Westinghouse an General Electric. Telephone repeater tubes were designed for reliability and long life until they were replaced by semiconductors.

In the 1920^{ies} began what later was called electronics. (The expression "electronics" became familiar with the magazine "electronics" in the USA since 1930). This was the beginning of control by tubes etc. of e. g. machines and illumination. Among the various tubes used in this field were photocells and thyratrons. One example for early machine control is the "Spiegellegemaschine" built by the company Universelle of Dresden, Germany [21]. This machine placed cigarettes automatically with the printing upside into the into the lid boxes in use at that time and was equipped with a photocell and thyratron.

Electronic television started with the introduction of the "Ikonoskop" by Vladimir Zworykin (1889–1982) in 1927, which was the first electronic camera tube.

Radar techniques were principally known since Hülsmeyer in 1904 and came in the years shortly before and during World War II into broad application. Very high frequencies and power were used, and some new kinds of tubes had to be developed. Among these were the cavity magnetron, klystron and disk seal tubes.

Image converter tubes for night vision were introduced during World War II as well.

Figure 33.14:
Tubes developed up to 1940.
From the left: catkin tube (UK), metal tube (USA),
"steel"-tube (Germany),
"red" tube and "lock-in" tube (Netherland)

Photos taken from authors collection. [19]

After the war new kinds of tubes were developed, starting with the travelling wave tube in 1946. There were switching tubes for telephone exchange as well as counting and indicating tubes for counters and computers.

One of the best known is the "Nixie"-tube, a gas-filled indicator tube. One of the last developments is the gyrotron, a high power high frequency tube.

Most of the tube types are replaced by semiconductors today. Just now we observe the replacement of Brauns tube by displays using liquid crystals. It may well happen, that the first tube in technical application, the Röntgen tube, will be the last one as well.

33.5 References

1 Günther, H. und F. Fuchs: *Der paktische Radioamateur.* Stuttgart (2nd ed.) 1923.

2 Gundelach, Emil: *Catalogue "Physik".* Gehlberg 1909.

3 Marx, Erich: *Handbuch der Radiologie.* Vol. **5**, Röntgenstrahlen. Stuttgart 1919.

4 Gundelach, Emil: *Catalogue "Röntgenröhren".* Gehlberg, not dated.

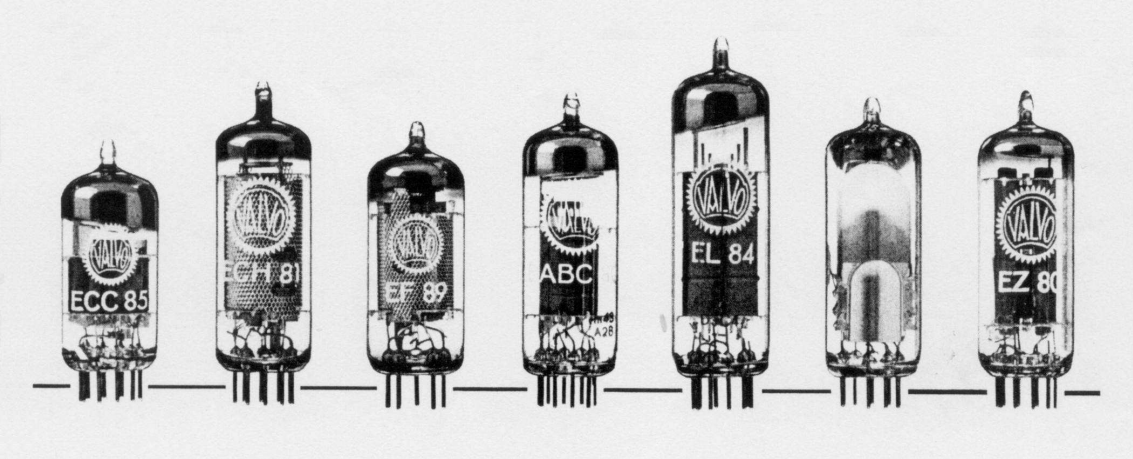


Figure 33.15:
Set of tubes for a standard radio receiver about 1955
Valvo Berichte Heft 1 / 2, Hamburg 1964. [20]

5 Hewitt, Peter Cooper: *Gleichrichter für Wechselstrom.* Deutsche Patentschrift 1157642, 1902.

6 Tyne, Gerald F. J.: *Saga of the Vacuum Tube.* Indianapolis 1977.

7 U. S. Patent No. 803684, taken from Tyne, Gerald F. J. 1977.

8 *Annalen der Physik* 1897, Vol. **60**, taken from Alberti, E.: *Braunsche Kathodenstrahlröhren.* Berlin 1932.

9 *Annalen der Physik* 1899, Vol. **69**, taken from Tyne, Gerald F. J. 1977.

10 *50 Jahre TeKaDe.* Nürnberg 1962.

11 Zenneck, Jonathan und Hans Rukop: *Drahtlose Telegraphie.* Stuttgart (5th ed.) 1925.

12 Tyne, Gerald F. J. 1977.

13 Photo taken from authors collection.

14 see e. g. *A Tungsram R.T. Törtenete 1897–1945.* Budapest 1987.

15 Goerth, J.: *Proliferation of Tube Types.* IEEE Conference on the History of Electronics 2004.

16 Photos taken from authors collection.

17 Photos taken from authors collection.

18 Photos taken from authors collection.

19 Photos taken from authors collection.

20 *Valvo Berichte* Heft **1** / **2**, Hamburg 1964.

21 Simon, H. und R. Suhrmann: *Lichtelektrische Zellen und ihre Anwendung.* Berlin: Springer 1932.

Figure 34.1:
Iris Runge (1888–1966) (seated, centre) and co-workers,
research laboratory of Osram, Factory A,
in Berlin, Sickingenstraße

StBPPK

Mathematics – for improving the construction of valves

Renate Tobies (Braunschweig)

Abstract: Mathematik – „für den besseren Bau von Rundfunkröhren“

In der Anfangsphase der Vakuumelektronik hatten im Wesentlichen physikalische Grundkenntnisse ausgereicht bzw. pragmatische Versuchsphasen zum Erfolg geführt. Die weitere Entwicklung der Nachrichtentechnik, insbesondere die seit dem Ersten Weltkrieg und verstärkt in den 1920er Jahren einsetzende Massenproduktion elektrotechnischer Stückgüter (Glühlampen, Elektronenröhren), erforderte eine bessere wissenschaftliche Fundierung der Produktions- und Konstruktionsprozesse. International setzte sich in den Industrieforschungslaboratorien ein Denkstil durch, der im Laborjargon „Berechnen statt Stöpseln (= Probieren)“ bezeichnet wurde. Dabei gab es in der Regel nur wenige mathematische Experten, die in Rundfunkröhren-Laboratorien tätig waren. Auf der Basis von Laborakten der Elektronenröhrenforschung in den Firmen Osram und Telefunken wurde das Eindringen von mathematischen Methoden analysiert, wobei sich die Forscherin Iris Runge (1888–1966) als Expertin profilierte. Hier bildete sich ein Herangehen an das Lösen von Problemen aus, das auch aktuell für Techno- und Wirtschaftsmathematik typisch ist.

The valve (vacuum tube) was invented without mathematics. The famous Barkhausen equation, which connects the important characteristics of a valve, was also found empirically. But in the 1920s, when the mass production of valves – as a result of the development of wireless broadcasting and communication – began, mathematics was used in order to get reproducible products for mass production and to design better valves. I will show that mathematics became an integral part of the thought process in German industrial electronic valve laboratories (Osram, Telefunken). The analysis of laboratory reports reveals the international nature of the mathematical approach for solving technical and economic problems, and shows that women could, as individuals, play a decisive role as mathematical consultants. Thornton C. Fry (1892–1991), who created a special Mathematical Research Department at Bell Telephone Laboratories in

the late 1920s, talked about "the fewness of the mathematicians" in 1941. Iris Runge (1888–1966), who worked in research laboratories of Osram and Telefunken from 1923 to 1945, wrote that she liked calculating and mathematical cogitation and did this for improving the construction of radio valves. I will describe the position and mathematical approach of Runge and compare them with mathematical researchers in other industrial labs.

On July 4, 1947, the corporate management of the valve factory of the Telefunken Company in Berlin sent a list of former employees to the Military Government, British Troops Berlin, Disarmament Branch, in order to get a licence to continue the research and production of valves (vacuum tubes). This list of 62 former researchers and senior fellows included one woman, Iris Runge (Fig. 34.1). We read that in her former position she *"specialized in treating mathematical valve problems"* (Fig. 34.2) and her qualification was *"comprehensive knowledge of mathematical treatment of valve problems"* (DTMB, 6734, p. 35). I discuss below the introduction of mathematical methods in industrial valve laboratories in Germany starting in the 1920s.

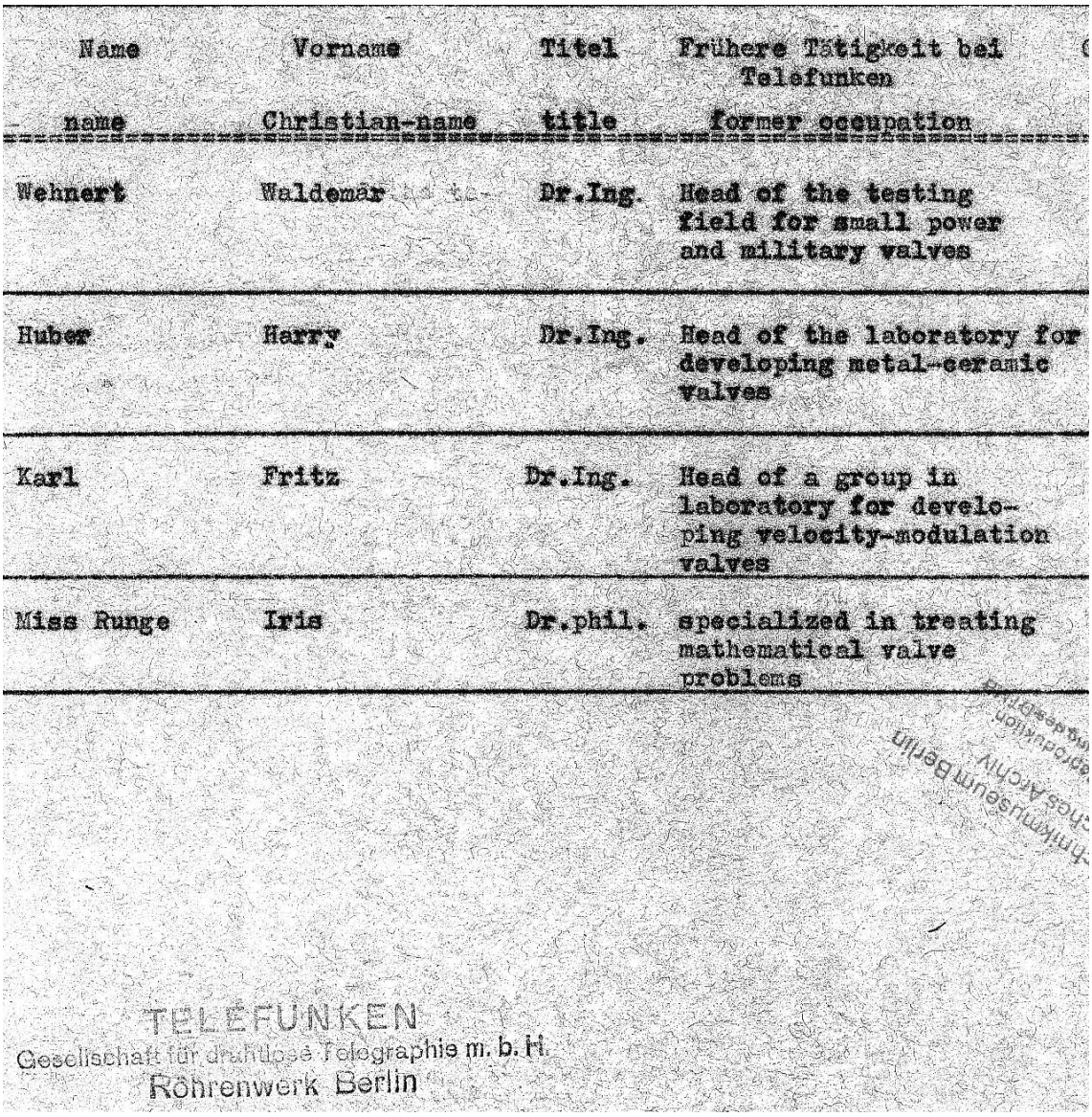
34.1 Valve Development

The most productive era of valve development was from the 1920s until the invention of the transistor in 1947. The invention of the vacuum or thermionic valve constituted the dawn of the age of electronics. Its invention enabled the wireless technology of the day to move forward. Many new and exciting applications were found for these devices, first as telephone repeater amplifiers and then many others that were not always linked to wireless and to the new area of electronics. Developments in semiconductors that resulted in the invention of the transistor meant that smaller, more reliable, and less power-hungry devices could be made. The success of the transistor was far from instantaneous. It took until the 1960s before domestic radios used them widely, and even then many valve radios remained in service for many years (and still remain). Today thermionic technology is still used but in limited areas. High-power transmitters still use valves, and cathode-ray tubes are still used by the millions. Magnetrons (high-frequency transmitting valves) too became important in radar research, microwave oscillators, and in the kitchen, and an extension of the magnetron called the gyrotron have many applications (Götz et al. 2007).

34.2 Mathematics and Valve Development

The valve was invented without mathematics. The famous Barkhausen equation, which connects the important characteristics of a valve, namely mutual conductance (*Steilheit* S), penetration coefficient or inverse amplification factor (*Durchgriff* D), and internal resistance (*Innenwiderstand* R_i), was also found empirically: $SDR_i = 1$, where

$$S = \left(\frac{\delta I_A}{\delta U_G}\right)_{U_A=const}, \; D = -\left(\frac{\delta U_G}{\delta U_A}\right)_{I_A=const}, \text{ and } R_i = \left(\frac{\delta U_A}{\delta I_A}\right)_{U_G=const}.$$



Name name	Vorname Christian-name	Titel title	Frühere Tätigkeit bei Telefunken former occupation
Wehnert	Waldemar	Dr.Ing.	Head of the testing field for small power and military valves
Huber	Harry	Dr.Ing.	Head of the laboratory for developing metal-ceramic valves
Karl	Fritz	Dr.Ing.	Head of a group in laboratory for developing velocity-modulation valves
Miss Runge	Iris	Dr.phil.	specialized in treating mathematical valve problems

Deutsches Museum München
Bibliothek und Archiv

TELEFUNKEN
Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.
Röhrenwerk Berlin

Figure 34.2:
Partial list of former employees of Telefunken-Röhrenwerk including statement of present address and former position, sent to Military Government, British Troops Berlin, Disarmament Branch, Berlin-Charlottenburg, on July 4, 1947.

DTMB, 6734, p. 35.

This empirical equation served as the basis for the further mathematical modelling of valves. Heinrich Barkhausen (1881–1956), who wrote textbooks on valves that went through many editions, favoured an empirical approach and descriptive notions. He argued that the creation of a new descriptive notion was more useful than a mathematical deduction,[1] disputing Walter Schottky (1886–1976), who first modelled a high-vacuum amplifier valve mathematically (Schottky 1919).[2] Barkhausen became director of a new Institute of Communications (Institut für Schwachstromtechnik) at the Technical University (Technische Hochschule) in Dresden. Schottky worked as scientific director of the central research laboratory of the Siemens & Halske Company for a long time. Not only Schottky used mathematical methods in industry; "calculation instead of trial" (*Berechnen statt Stöpseln*[3]) became an important watchword in industrial laboratories in the early 1920s.

This new research method expanded especially in the field of electrical engineering and in the communications industry. In the 1920s, when the mass production of valves began – as a result of the development of wireless broadcasting and communication – mathematics was used to obtain reproducible products for mass production and to design better valves. There is a good analysis of the mathematical foundations of communications at Bell Telephone Laboratories (Millman 1984). Thornton C. Fry (1892–1991) emphasized: "As the scientific method replaced Edisonian cut-and-try, the engineer's methods of design became more and more analytical." (Fry 1964, p. 936). The practising engineer got his mathematics wherever he could – often through self-education, sometimes by seeking the help of his "long-haired colleagues" (Fry 1964, p. 936). Fry, however, mentioned no female researcher by name.

34.3 Osram and Telefunken, and the Use of Mathematical Methods

My main interest is to show how mathematical methods were integrated into the production of valves, how the mathematical approach operated, and who were the main users of mathematics for solving problems in industrial valve laboratories in Germany (Osram and Telefunken, both with headquarters in Berlin).

Osram GmbH was born of famous parents, replacing in a new concern the filament-lamp production and development laboratories of Gas-Glühlicht-Gesellschaft (Auer-Gesellschaft), Siemens & Halske, and Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft (AEG). Osram's first official fiscal year began on July 1, 1919, and from the beginning the Osram Company produced not only lamps but also valves. It became an international concern with equity holdings in General Electric Company Ltd. (GEC) in London, the General

[1] Barkhausen wrote, *„dass er die Prägung eines neuen anschaulichen Begriffes für wertvoller halte als eine mathematische Ableitung."* (Barkhausen 1920, p. 82).

[2] Walter Schottky was a son of Friedrich Schottky (1851–1935), professor of mathematics at the University of Berlin (Serchinger 2000). Walter Schottky also created a new mathematical structure for modelling of the problem of noise in a valve (Dörfel/Hoffmann 2005, pp. 2–5, p. 16).

[3] See „Berechnen statt Stöpseln" as a contemporary watchword (Fränz 1986).

Electric Company (GE) in the United States in Schenectady, New York, and in other concerns (Luxbacher 2003; Vyse/Jessop 2000; Clayton/Algar 1989, p. 8).

"Telefunken-Gesellschaft für drahtlose Telegraphie" was established on May 27, 1903. Its parents were Siemens & Halske and AEG. Thus, Telefunken and Osram were closely connected. In 1914, before the outbreak of the Great War, the first valve laboratory was established in the Telefunken Company, parts of which in the 1920s were transferred into the Osram GmbH. The research laboratories of Factory A were located near the production plant for lamps and valves, at Sickingenstraße 71. On July 1, 1939, the Osram valve factory and valve research laboratories (Osram Factory A, formerly AEG) were in turn transferred to Telefunken.

Figure 34.3:
Serial Production of Telefunken Radio Valves Osram Factory A, Berlin Sickingenstraße
Hans Rukop (1928), p. 148.

Laboratory reports reveal that mathematics became an integral part of industrial valve production in Germany, that this approach was international in nature, and that a woman played a decisive role as a mathematical consultant. Iris Runge, who worked in the research laboratories of Osram and Telefunken from 1923 to 1945, wrote in 1937:

> *„Ich mag gern rechnen und mathematische Überlegungen anstellen und tue das für den besseren Bau von Rundfunkröhren."*[4]

The documents affirm that Runge's acceptance was based upon her excellent mathematical knowledge and that she was the only woman researcher in the valve laboratory at Osram. No one else had specialized in treating valve problems mathematically in the Osram and Telefunken companies.

When Iris Runge worked at Osram, Factory A, her first research director was the chemist Doctor Richard Jacoby (1877–1941),[5] who described a current problem for which they needed her skills:

> *Wir glauben* [...]*, dass das Arbeitsfeld, auf dem Sie sich zu betätigen hätten, Ihnen Befriedigung bringen würde, und dass Sie für dasselbe die nötigen Kenntnisse mitbringen würden. Es handelt sich um chemische und physikalische Untersuchungen an Wolframdrähten, bei denen Sie Ihr physikalisches, metallographisches, physikalisch-chemisches und mathematisches Wissen zu verwenden Gelegenheit hätten.*[6]

Jacoby's assessment of Runge's ability to carry out research on tungsten wire was crucial.[7] She could use her knowledge of physics, metallography, physical chemistry, and mathematics on problems that required interdisciplinary and transdisciplinary research (Tobies 2008a). Since tungsten wire was used not only in lamps but also in valves,[8] an analog mathematical treatment could be used in research on both. Several months after Runge began work in 1923, she published her first paper on a new way to integrate the thermal-conduction equation to analyse electrically heated luminous wires. (Runge 1923) Employees possessing such mathematical knowledge were rare in manufacturing companies at that time. A letter to her parents in June 1923 reveals her enthusiasm for mathematics:

> *Vom Dienst kann ich wieder sagen, dass es herrlich ist (Immer wieder dasselbe!). Zuweilen habe ich den Eindruck, dass es hohe Zeit war das mal jemand mit einem kleinen bischen [sic!] Mathematik in die Osram gekommen ist, denn es gibt hier Menschen, die unglaublich primitiv rechnen. Und*

[4] *"I like calculating and mathematical cogitation and do this for improving the construction of radio valves."* (StBPK, 834, Bl. 2).

[5] Richard Jacoby was born on October 26, 1877, in Berlin and was murdered on March 21, 1941, in Sachsenhausen. He kept his position as director of the department "Versuchslaboratorien" [research laboratories] in Factory A of the Osram GmbH until at least 1936. (LAB, 446).

[6] *"We think that your field of work here would bring fulfilment for you, and that you would bring to it the required knowledge. It is about chemical and physical research on tungsten wires. You could avail the chance to use your physical, metallographic, physicochemical, and mathematical knowledge."* (StBPK, 746: Bl. 1).

[7] For work on tungsten at GEC, see (Clayton/Algar 1989, p. 74).

[8] For the close connection between research on incandescent filament lamps and valves at the General Electric Company in London since 1919, see (Clayton/Algar 1989, p. 115).

> *Jacoby selbst könnte doch auch die Hälfte seiner 100 feinen Ideen nicht ausnützen, wenn er mich nicht hätte, um ihm zu sagen, was daran richtig und falsch ist.*[9]

Iris Runge brought a new thought style, acquired from her father's intellectual tradition or thought collective,[10] to the Osram laboratories.

34.4 Iris Runge's and Carl Runge's Thought Collectives

At a time when women seldom were able to have careers in German universities, they often were offered research positions in industry. (Tobies 2008a) To obtain these positions however also entailed fulfilling prerequisites. I can assume that Runge belonged to a social network of relatives and friendly scientists who formed her mental, social, and political outlooks based upon their experience during the Great War. I now turn to these different thought collectives, as they would have affected her.

Iris Runge was the eldest daughter of the famous mathematician Carl Runge (1856–1927), the founder of numerics (Runge-Kutta methods), who in 1904 became the first professor of applied mathematics in Germany (Richenhagen 1997; Runge 1949). She was a so-called "daddy's girl" and was encouraged and inspired by her father, who formed her thought style. In particular, she learned how to use numeric and graphical methods and as a student helped to translate a book from English into German[11] in which graphical methods played an important role (Tobies 2006). Her father spent one semester as a visiting professor at Columbia University in New York in 1909–1910, where he received an honorary doctorate, lectured on Graphical Methods, and wrote a book on this subject (Runge 1912). Iris Runge studied, used, and advanced these methods (Pirani/Runge 1931).

Runge and his wife Aimée Runge (1862–1941), a daughter of the Berlin Professor Emil du Bois-Reymond (1818–1896),[12] had six children, four girls and two boys. They enabled their daughters as well as their sons[13] to acquire a university education, which was not the rule at the time. Their second child Ella (1889–1945) received her doctorate in medicine and became a paediatrician. Their third child Nerina (Nina), became a violinist and married the soon-to-be-famous mathematician Richard Courant (1888–1972) on January 22, 1919. Their fourth daughter Aimée Luise was born in 1903 and became a horticulturist (StBPK, 796: Bl. 425). Wilhelm T. Runge (1895–1987), seven

[9] *"About my work, I can again tell you that it is glorious (it is always the same!). Sometimes I have the impression that it was high time that someone with a little bit of mathematics arrived at Osram, since there are people here who calculate unbelievably primitively. And Jacoby himself could not use even half of his one-hundred good ideas if he would not have me to tell him which of them is right or false."* (Privatnachlass Iris Runge).

[10] See Fleck (1979/1980) on the notions of thought style and thought collective.

[11] *Aerodynamics.* London 1907. *Aerodonetics.* London 1908. Translated into German by Carl and Aimée Runge [and Iris Runge]. *Aerodynamik.* Leipzig: B. G. Teubner. Vol. 1, 1909, Vol. 2, 1911.

[12] He was a physician and physiologist, the discoverer of nerve action potential, and the father of experimental electrophysiology.

[13] The younger son Bernhard Emile (1897–1914) was killed in the Great War.

years younger than Iris, became a famous high-frequency researcher and radar technician. He worked at the Telefunken laboratories where he inaugurated the new thought style of "calculation instead of trial", much as Iris had at Osram. Iris and Wilhelm became close colleagues (Tobies 2008b).

Iris Runge was born in the same year as her future brother-in law Richard Courant and her first cousin Erich Trefftz (1888–1937), a son of her father's sister. Iris Runge, Courant, and Trefftz all studied together at the University of Göttingen and belonged to a common thought collective. Trefftz went along with Carl Runge to the United States in 1909–1910 as his assistant and later became a professor of applied mechanics at the Technical University in Dresden. Carl Runge regarded Trefftz as his most important follower. Iris Runge knew and used Trefftz's and Courant's methods. Later, she translated Courant's book, *What is Mathematics?*, into German (Courant et al. 1962). She campaigned with him for the Social Democrats in Göttingen in 1919, when women first attained the right to vote (Dahms/Halfmann 1988, p. 67f). After the promulgation of the Nazi Civil Service Law on April 7, 1933, the Courant family had to emigrate to the United States. Iris Runge had become a member of the Social Democratic Party in 1929 and also toyed with the idea of emigration, but was unable to get a job in America.[14] She visited Nina and Richard Courant in the United States in September 1936. Later that year, Courant became a professor at New York University.

Iris Runge entered the University of Göttingen in 1907. She spent the winter semester of 1910–1911 at the University of Munich, where she became part of another important thought collective, centred on the theoretical physicist Arnold Sommerfeld (1868–1951).[15] As a student with Sommerfeld, Runge published her first paper in which they used vector analysis to treat optical problems (Runge/Sommerfeld 1911).

She took her teacher examinations in mathematics, physics, and geography in 1912, worked as a teacher during the Great War. She began to study chemistry in 1918, taking her teacher examination in chemistry two years later. In 1921 she completed her doctorate in physical chemistry under Gustav Tammann (1861–1938), joining an important thought collective on the study of metals. Some of Tammann's doctoral students found research positions in industry. Iris Runge's doctoral thesis combined experimental and theoretical research, the latter aspect exemplified by her use of mathematical methods (Runge 1921). She applied partial differential equations such as the diffusion and thermal conduction equations to diffusion problems, thus adopting her father's thought style by using a mathematical approach to solve problems of industrial relevance. Tammann incorporated her main result, the definition of a new diffusion coefficient (of carbon in iron), into his textbook on metallography (Tammann 1923, p. 242; 1932, p. 307).

[14] Iris Runge became acquainted with the Belgian-American polymath and historian of science George Sarton (1884–1976) in the early 1930s. Sarton had founded the journal *Isis*, the official Journal of the *History of Science Society*, in 1912, and Iris Runge began to study his books on the history of mathematics and science. Sarton became a lecturer at Harvard University in 1920 and professor of the history of science in 1940, but he could not offer a job that he had discussed with Iris Runge. She continued to work in German industry during the Nazi period, but began to write papers on the history of science in her leisure time. (Privatnachlass).

[15] Sommerfeld created a highly influential school of theoretical physics. (Eckert 1993).

34.5 Iris Runge's Mathematical Treatment of Valve Problems

Beginning in March 1923, Iris Runge, as an employee of Osram GmbH, became expert at solving diverse problems mathematically. Working in the department of lamps research from 1923 to 1929, she employed and developed methods that proved useful for valve research and production. I characterize two main directions of her research as the use of statistical methods, and the calculation of valve characteristics, the latter focusing on the theory of electron emission and the calculation of valve dimensions.

34.5.1 Use of Statistical Methods

The use of statistical methods to guide and control the mass production of lamps and valves in Osram factories coincided with international efforts to use methods of mathematical statistics in industry and commerce, a component of a "Probabilistic Revolution" in the 1920s.[16] I compare the methods that Iris Runge developed in this field to those that were developed in the United States, and used later in other countries. In the United States, Walter Andrew Shewhart (1891–1967), a member of a mathematical research department at the Bell Telephone Laboratories, is regarded as the father of statistical quality control.[17] Although the first textbook on applications of mathematical statistics to problems of mass production was published in Germany (Becker/Plaut/Runge 1927), Germany has been generally regarded as conservative in using statistical methods prior to 1945, even if little has been known about this in detail. My analysis of laboratory reports and other documents show that there was close cooperation here between industry and university, which was cut off by the Nazi regime in the mid 1930s.

Iris Runge wrote the systematic textbook *Anwendungen der mathematischen Statistik auf Probleme der Massenproduktion*, based upon lectures of the theoretical physicist Richard Becker (1887–1955), the mathematician Hubert C. Plaut (1889–1978), and her own. The book is divided into a theoretical and an experimental part, the latter using lamps as an example. The main methods described, which were averaging, quantile (*Streuungsmaß,* or degree of scatter), and the Gaussian distribution, were well known. However, the systematic application of these methods in industrial research was new. Runge also developed new formulas for treating particular problems. Her laboratory reports and papers show that:

1. She used these methods for tracking changes in the construction of valves and for testing different stages in their development.
2. She developed new methods (equations, graphical tables) for treating particular practical problems. To help understand the significance and context of numeric solutions, she presented them in graphical form (Fig. 34.4).
3. She revised the second edition of a book by Marcello Pirani (1880–1968) on graphical methods in science and technology (Pirani/Runge 1931). Her new graphical

[16] See also Krüger et al. (1987).
[17] See in particular (Millman 1984), (Eisenhart 1992), (Bayart/Crépel 1994), and (Bayart 2006).

representations, which she developed at the Osram laboratory, were also used in Telefunken laboratories and in those of other companies (Tobies 2007b).

34.5.2 Calculation of Valve Characteristics

After Runge changed from the filament-lamp research laboratory to the department of valve laboratories, around Pentecost of 1929 (Privatnachlass), she mainly calculated valve characteristics, but also continued to use and improve the theory and methods of mathematical statistics (Fig. 34.4). In 1928, the Osram valve department in Factory A had been restructured. Although its new director, Adolf Günterschulze (1878–1967),[18] did not stay long, his research program had a lasting influence. In particular, he installed Iris Runge as a theoretical expert working alongside experimental valve construction researchers, outlining their main research tasks in a three-page document dated November 1929 (DTMB, 6614). There were six research groups in his department, and three so-called work students (*Werkstudenten*).[19] Iris Runge was made head of one of these groups. The other groups and their heads were as follows:

- Dr. Willy Statz and Dr. Herbert Daene were responsible for the design of indirectly heated cathode valves with minimal noise.[20]
- Dr. Erich Hoepner headed a group to improve water-cooled transmitting valves.[21]
- Dr. Peter Kniepen was assigned specifically to develop 100-Watt thorium valves.[22]
- Dr. Rudolf Sewig should design photoelectric cells.[23]
- Dr. Konrad Meyer was assigned to the development of a hot cathode detector employing a mercury arc for high voltages and low currents.[24]

[18] Güntherschulze had directed a laboratory of electrochemistry in the Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Berlin since 1921 and was appointed to a professorship at the Technical University (Hochschule) in Dresden in 1930.

[19] Similar groups stood at the center of most of the important valve laboratories in other countries (see for instance Clayton/Algar 1989, p. 118).

[20] Willy Statz (1892–1960), physicist, was later director of laboratories at Telefunken. Herbert Daene (1906–1975) later became head of a laboratory for developing radio receiver valves at Telefunken and after 1945 was appointed professor of astrophysics in Potsdam.

[21] Erich Hoepner became head of a transmitter-valve laboratory at Telefunken from 1939 to 1945.

[22] Peter Kniepen (born 1889), Dr. phil. et nat., became head of a transmitter-valve laboratory (transmitter valves with tungsten and thoriated tungsten filaments) at Telefunken from 1939 to 1945 and resumed work at Telefunken in 1950.

[23] Rudolf Sewig (1904–1972) completed his habilitation degree in electrotechnics at the Technical University of Dresden in 1932. He became Technical Director and member of the Directorate at Voigtländer AG, Optical and Fine Mechanical Companies, Braunschweig, from 1948 to 1953. Simultaneously he was professor extraordinary of applied physics at the Technical University of Braunschweig.

[24] Konrad Meyer (born 1900) completed his doctorate in electrotechnics at the Technical University in Munich in 1929 (HATUM, PromA, Meyer, Konrad) and became Technical Director of the AEG Valve Factory after 1945.

Die Kurventafel selbst wird zweckmäßig in einem doppelt-logarithmischen Netz angelegt, um die relative Genauigkeit auch bei kleinen Werten gleich zu halten. Abb. 1 zeigt das Ergebnis (etwa 1:4 verkleinert). Alle Kurven sind nach links hin nur bis zu dem Punkte gezeichnet, wo $nq = 1$ oder gleich der kleinst möglichst ganzen Zahl wird, da ein von 0 verschiedenes q für alle Fälle nq mindestens $= 1$ voraussetzt. Die durch $nq = 1$ bestimmten Enden der Kurven sind durch eine gestrichelte Kurve, die beinahe geradlinig verläuft, verbunden.

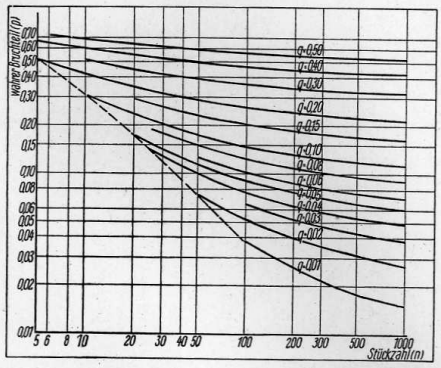


Abb. 1. Tafel zur Bestimmung des Wertes p, unterhalb dessen der wahre Bruchteil einer großen Gesamtheit mit 90 v. H. Wahrscheinlichkeit liegt, wenn in einer Probe von n Stück der Bruchteil q gefunden wurde

Die Anwendung der Tafel ist folgende. Es seien z. B. in einer Probe von 80 Stück 12 Stück der betrachteten Eigenschaft gefunden, also ist $q = 0{,}15$. Sucht man an der Kurve $q = 0{,}15$ den Punkt $n = 80$ auf, so entspricht diesem $p = 0{,}21$. Es darf dann mit 90 v. H. Wahrscheinlichkeit geschlossen werden, daß der wahre Prozentsatz unter 21 v. H. liegt. 90 v. H. Wahrscheinlichkeit bedeutet, daß, wenn man solche Schlüsse sehr oft macht, man sich immer noch in 1 von 10 Fällen irren wird.

3. Andere Kurventafeln

Die im Anfang dieser Arbeit erwähnte andere Fragestellung, nach der Wahrscheinlichkeit, mindestens einen bestimmten Prozentsatz q in der Probe zu erhalten, wenn der wirkliche Prozentsatz p bekannt ist, erfordert eine andere Tafel, die sich aber genau so anordnen ließe, wie die mitgeteilte. Wertet man die betreffenden Formeln aus, so zeigt sich, daß die Kurven $q = \text{const}$ in einem p, n-Netz von denen der Abb. 1 nicht sehr verschieden verlaufen. Insbesondere im rechten Teil der Tafel ($n > 500$) laufen sie innerhalb der Zeichnungsgenauigkeit mit diesen zusammen. Auf der linken Seite würden die Kurven der neuen Tafel alle etwas höher verlaufen, und zwar so, daß die Punkte bei $n = 10$ etwa 8—10 v. H. des Betrages von p, bei $n = 20$ etwa 4—5 v. H. höher liegen. Bei $n = 100$ ist der Unterschied noch 1 v. H., was in der unverkleinerten Zeichnung etwa 1 mm ausmacht. Wenn es nur auf eine Überschlagsbetrachtung ankommt, kann man also die Tafel ohne großen Fehler auch für Fragen der genannten Art benutzen. Handelt es sich z. B. um die Frage, wieviel Stück man prüfen muß, um bei einem erwarteten Prozentsatz p diesen mit 90 v. H. Wahrscheinlichkeit mindestens bis auf 2 v. H. auch wirklich zu bekommen, so würde man die Kurve $q = p - 0{,}02$ bis zu der Höhe p verfolgen, und das zugehörige n aufsuchen. Je nach der Lage in der Kurventafel hätte man dann einige Prozente zuzugeben wegen der erwähnten Abweichung der Kurven. Sei z. B. $p = 0{,}07$, so braucht man, um mit 90 v. H. Wahrscheinlichkeit mindestens 5 v. H. zu finden, nach der Tafel 325 Stück; fragt man aber, wieviel man braucht, um nur überhaupt etwas zu finden, so sucht man auf, welches Kurvenende bei $p = 0{,}07$ liegt; das wäre etwa eine Kurve wenig unter $q = 0{,}02$; man würde 55 Stück brauchen, wobei die Zugabe wegen der Kurvenabweichung schon berücksichtigt ist.

Ist die Wahrscheinlichkeit von 90 v. H. nicht ausreichend, wünscht man z. B. die Beantwortung aller Fragen mit 95 v. H. Wahrscheinlichkeit, so wird natürlich der Zusammenhang p, q, n ein anderer. Für jede Wahrscheinlichkeit braucht man eine besondere Kurventafel, die sich aber mit Hilfe der angegebenen Formeln in derselben Weise berechnen läßt.

Ebenso würde es eine andere Tafel erfordern, wenn man die Frage nach dem Wert p_2 stellt, oberhalb dessen p in 90 v. H. aller Fälle liegt, anstatt wie hier unterhalb.

Zusammenfassung

1. Für die Frage nach der Wahrscheinlichkeit, bei bekannter Häufigkeit eines Merkmals in einer großen Gesamtheit in einer Probe gegebener Größe ein bestimmtes Ergebnis anzutreffen, und umgekehrt nach der Wahrscheinlichkeit, aus der tatsächlich gefundenen Häufigkeit in einer Probe auf die unbekannte Häufigkeit in einer großen Gesamtheit zu schließen, werden die Formeln zusammengestellt.

2. Für den vielfach besonders interessierenden Zusammenhang zwischen der Probengröße, der gefundenen Häufigkeit in ihr, und demjenigen Wert, unterhalb dessen die wahre Häufigkeit in der sehr großen Gesamtheit dann mit 90 v. H. Wahrscheinlichkeit angenommen werden kann, wird eine graphische Tafel konstruiert.

3. Es werden weitere Fragestellungen erörtert, die sich z. T. auf Grund derselben Tafel beantworten lassen, z. T. andere auf ähnlichem Wege zu berechnende Tafeln erfordern.

(Eingegangen am 15. November 1935)

Figure 34.4:
The last page of the paper (Runge 1936, p. 138)
in which she developed a new formula and a graphical table
to obtain a probability of 90% for a given totality
by using a small control sample.

Runge 1936.

Iris Runge was the only woman senior official (*Oberbeamtin*) in the valve department and the only group head who was assigned to theoretical work: *"1) Entwicklung der Theorie der Elektronenemission, 2) Berechnen von Röhrendimensionen"*.[25] She wrote annual reports for the years 1930–1931 and 1931–1932 and more than forty detailed reports on specific valve problems prior to 1944 (Tobies 2007a, 2007b, 2008) that document the diverse range of problems that she treated mathematically. Her work may be characterized as reducing a problem to its essential aspects, describing it with equations (mathematical modelling), solving the equations, comparing theoretical to experimental results, and presenting the predictions, comparisons, and results in a graphical form that could be understood by scientists, technicians, and engineers who were less mathematically gifted. This process also involved continually refining the mathematical model.

There was close cooperation between the experimental researcher and (female) theoretical expert. For instance, in her annual reports of 1930–1931 and 1931–1932, Runge wrote that she calculated a slotted anode for Dr. Kniepen's experiments, that she calculated the penetration coefficient (*Durchgriff*) for Dr. Hoepner's experiments, that she made calculations for Dr. Meyer's experiments on cathode sputtering, that she calculated the potential-field distribution of a cathode-ray tube, that she investigated magnetrons theoretically and the like. She and Rudolf Sewig published a joint paper (Runge/Sewig 1930/31) in which she was responsible for the theoretical part. Later, Sewig also asked her for mathematical help.[26]

In general, her theoretical investigations were related to experimental work with the goal of improving the product and production processes, as we will see below.

Theory of Electron Emission

The emission of electrons from solid substances, which was first observed decades earlier, is produced by heating, or by applying a strong electric field to a cathode (the emitting element) and thereby supplying enough kinetic energy to electrons for them to escape. The development of high-frequency electromagnetic wave technology required studying the laws of motion of electrons in changing magnetic and electric fields. Iris Runge identified a critical parameter that could shape a mathematical approach. She focused on the electrons' *transit time*, the time it took them to travel from a cathode through a control grid and then to the anode (or plate). At low frequencies, this transit time was short and could be neglected, but at frequencies above 100 megahertz, the period of the wave was so short (less than 10×10^{-9} second) that it was comparable to the transit time. Runge published two important papers on this subject; (Runge 1937a, 1937b), her results were still used in the 1950s (Rothe/Kleen 1955, p. 124).

Another important component of the theory of electron emission that Runge addressed was the explanation of the magnetron, a diode valve in which the flow of electrons from a central cathode to a cylindrical anode is controlled by crossed magnetic and electric fields. The magnetron is one of a class of high-power transit-time valves on

[25] *"1) Development of the theory of electron [thermionic] emission, 2) Calculation of valve dimensions."* (DTMB, 6614).

[26] Sewig to Runge, October 18, 1937. (StPKB, Nr. 740).

which development began in the 1920s (see for example Lyon 1995). The American Albert Wallace Hull (1880–1966) introduced its idea in 1921, and Erich Habann (*1892) provided its first theoretical model in his doctoral thesis at the University in Jena in 1924.[27] He calculated the spiral path of an electron in a magnetic field. The Japanese physicist Kinjirô Okabe then made a major contribution by producing magnetrons with split anodes in the centimetre wavelength range in 1929.

Runge analysed the magnetron effect in transmitting valves in the Osram laboratory beginning in 1930. There was at that time an international competition to design and produce high power magnetrons at high frequencies. G. Ross Kilgore (*1907), one of the most important researchers in this field, began a magnetron project at Westinghouse Electric and Manufacturing Corporation in the United States in the early months of 1930 (see Stephan 2001). Kilgore succeeded in advancing the state of the magnetron art, but had really no theoretical basis for his work.[28] Iris Runge, by contrast, developed a "brilliant" mathematical model of a magnetron with four split-anodes (Runge 1940), according to Friedrich Wilhelm Gundlach (1912–1994).[29]

Runge, as noted above, visited her sister and her family in New York in 1936. At the same time, she received Osram's accreditation for a business trip to the United States to visit Kilgore and his laboratory, which meanwhile had relocated to the Radio Corporation of America (RCA) in Harrison, New Jersey. Before leaving Germany in September 1936, she wrote a detailed report, dated August 1, on the theory of two- and four-split-anode magnetrons in which she described rigorously mathematically the movement of electrons under the influence of a magnetic field. (DTMB, Nr. 6604, pp. 155–175) She thus came well prepared for her meeting with Kilgore, whose 1936 paper she had previously read in Berlin, as we learn from her post-visit report, "Die Magnetronversuche im Laboratorium der RCA, Harrison", dated October 19, 1936 (DTMB, Nr. 6604, pp. 152–154), in which she noted that she discussed the theory of split-anode magnetrons with Kilgore and that his assessments of this field basically agreed with her own and that of others, notably Eric C. S. Megaw (1908–1956).[30] Runge thus reveals herself to be at the

[27] Habann wrote his doctoral thesis under Max Wien (1866–1938), one of the pioneers of high-frequency technology, using Laplace and Maxwell equations (Habann 1924), and obtaining the grade *magna cum laude* (UA Jena, Bestand M, Nr. 587).

[28] Stephan wrote: *„In terms of theory, there wasn't much. The period of the high-frequency oscillations appeared to be related to the time it took electrons to follow their curved paths in the magnetic field from filament to one of the two anodes. But the electrodynamic problem posed by electron motion in the high-frequency split-anode magnetron was too complex to solve with analytical techniques of the 1930s. No one really understood how it worked."* (Stephan 2001, p. 744).

[29] Gundlach wrote the paper on *Laufzeitröhren* (velocity-modulation valves, magnetrons) for the FIAT Review of German science (Gundlach 1948, p. 211). He had written his doctoral thesis on "Das Verhalten der Habannröhre als negativer Widerstand" (Berlin: VDI-Verlag GmbH 1938) and became a pioneer in magnetron research, working in the Berlin Factory of Julius Pintsch. He became professor of electrical engineering at the Technical Hochschule in Darmstadt in 1949.

[30] Eric Megaw was born in Dublin in 1908 and educated at Campbell College and Queen's University Belfast. In addition to being an accomplished engineer, he was fluent in French, German, and Italian. At age 14 he built his first crystal wireless set, and with 16 he constructed a home-made radio transmitter and obtained patent protection for improvements in the tuning of radio equipment. In 1925 (age 17), he made the first radio contact between Ireland and Australia, and the following year

forefront of research in this field. Kilgore demonstrated his magnetrons for her, which she described in detail. She concluded her report by remarking that the development in the Osram laboratories was considerably further advanced than what she had found at RCA.[31]

Runge also analysed a paper on split-anode magnetrons that Gundlach published in 1936 (DTMB, 6604, pp. 139–142). This analysis and the information from the RCA visit were all of which she incorporated into her detailed report on four-split-anode magnetrons in 1940. Her laboratory reports document that she continued and intensified her research in this field in 1943 when a magnetron[32] recovered from a downed British plane revealed that the device could be an important instrument for radar technology. Her last report is dated November 7, 1944, when the valve laboratories, and Iris Runge with them, were relocated to Liegnitz (today Legnica, Poland).

Calculation of Valve Dimensions

Runge wrote several reports dealing with calculations of various valve characteristics. One of her principal papers was "Die Berechnung des Durchgriffs auf Grund der Potentialverteilung" (Runge 1941), in which she calculated the penetration coefficient as a function of the potential distribution. Runge systematized all relevant internationally determined formulas in consistent terminology, and corrected errors in them. She

---

he made the first trials of short-wave radio for reliable transatlantic wireless communication. At age 20, he obtained a Beit Research Fellowship at Imperial College London. Two years later he joined the General Electric Company in Wembley (London), where he worked on the cavity magnetron, a device for producing the microwave radiation needed for accurate radar sounding. He later refined the magnetron, reducing its weight from 50 to 6 pounds and increasing its reliability, so that it could be flown in aircraft. These values significantly influenced the course of the Second World War in favour of the allied forces. After the war, he joined the Royal Naval Scientific Service and was promoted to Director of Physical Research in 1950.

[31] Iris Runge wrote: *„Die Sonderstellung der Schwingungszustände mit n=2 und 4 bei 4- bzw. 2-Schlitzmagnetrons hat Dr. Kilgore freilich nie feststellen können; er unterscheidet nur Schwingungen auf Grund negativer Charakteristik einerseits und 'Elektronenschwingungen', d. h. solche von Laufzeitperiode, andererseits. Auch er hält die ersteren für praktisch wichtiger wegen der Möglichkeit, größere Leistungen und Wirkungsgrade zu erzielen. Er zeigte mir dann seine Röhren, von denen wir ja schon Abbildungen in seiner Arbeit aus Proc. Inst. Rad. Eng.* **24** *Nr. 8, 1936, gesehen haben; es sind sehr große Röhren, strahlungs- bzw. wassergekühlt, in denen das eigentliche Magnetronsystem nur einen kleinen Raum einnimmt. Er erzielt damit Leistungen von etwa 50–100 Watt bei Wellenlängen von 50 cm und Wirkungsgrade von 25–30% [. . .].* She characterized a model experiment by Kilgore and noted: *„Mit diesem Prinzip könnte man sehr schön auch für kompliziertere Elektrodensysteme den Elektronenverlauf untersuchen; freilich nur für den statischen Fall."* She continued: *„Die Probleme der Modulierung und der Fremdsteuerung sind dort offenbar noch gar nicht in Angriff genommen worden, da bisher die einfache 2-Schlitzröhre im Mittelpunkt des Interesses steht: selbst bei dieser ist offenbar von einer Ausbildung der Röhre für den Praktischen Gebrauch noch keine Rede. Ich hatte den Eindruck, daß man bei uns schon erheblich weiter ist, sowohl im Hinblick auf die Entwicklung von Röhrentypen mit mehrfachen Elektrodensystemen als auch auf die technischen Anforderungen an Form und Leistung der Röhren. Erwähnt habe ich hierzu natürlich nichts, sondern mich auf die Erörterung der theoretischen Elektronenbahnen beschränkt."* (DTMB, 6604, pp. 152–154). We do not know if Kilgore conveyed all he knew to Runge.

[32] For details about the historical development of the cavity magnetron see (Burcham/Shearman 1990).

weise verschiedene Werte einsetzen und dann denjenigen wählen, mit dem der geforderte Durchgriff am besten erreicht wird, ein langwieriges und ungenaues Verfahren. Es ist daher doch besser, die Tafel so einzurichten, daß die einzelnen Variablen selbst auf den Skalen ablesbar sind; dann erfordert

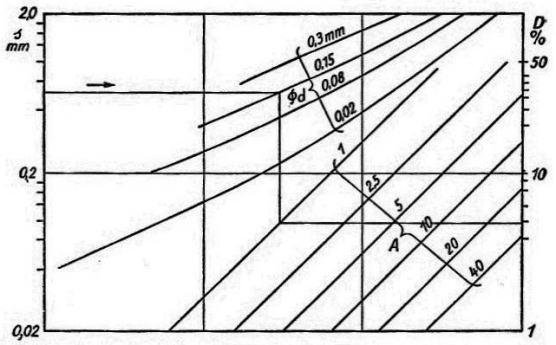


Bild 3. Netztafel für den Zusammenhang von s, A, ϕ_d und D_∞ (schematisch).

allerdings schon D_∞ im ebenen Fall eine zusammengesetzte Tafel, und zwar eignet sich am besten eine Netztafel, die sich etwa wie in Bild 3 angedeutet ausführen läßt. Für D_∞ im zylindrischen Fall kann man sich so helfen, daß man alle anderen Größen durch die Gitterdrahtstärke $2r_d$ ausdrückt. Will man das vermeiden, so bietet sich der Ausweg, für eine Anzahl gebräuchlicher

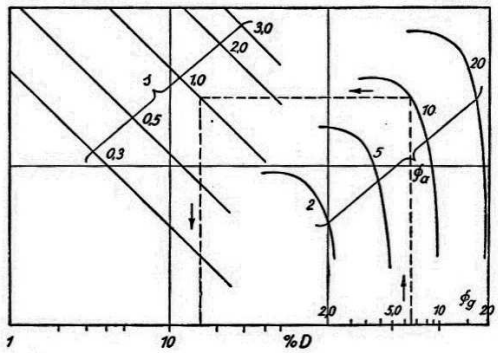


Bild 4. Netztafel für den Zusammenhang von s, ϕ_a, ϕ_g und D_∞ bei festem ϕ_d (schematisch).

Gitterdrahtstärken r_d je eine besondere Tafel herzustellen, die dann wieder als zusammengesetzte Netztafel ausgeführt werden kann. Bild 4 gibt ein schematisches Beispiel.

Figure 34.5:
Graphical tables developed by Iris Runge
in order to design valves with a given penetration coefficient D_∞

Runge 1941, p. 240.

also developed new formulas for specific new valve models, giving consideration to their miniaturization,[33] and thus to the diameters of their grid wires. She devised graphical representations for the various formulas, and explained clearly their use (see Fig. 34.5).

Horst Rothe (1899–1975) and Werner Kleen (1907–1991)[34] took over Runge's results directly in the second edition of their textbook of 1943. They linked their chapter on the penetration coefficient D_∞ to Runge's paper (Rothe / Kleen 1943, pp. 83ff) and her tables (Fig. 34.6). They also remark on her corrections of other scientists' errors in the formulas. Her tables of formulas are included again in the new edition of their book in 1955.

34.6 Conclusions

Runge worked as a mathematical consultant to engineers, using a wide range of mathematics, and specializing in the mathematical treatment of all aspects of valve problems. In her work, mathematics was fully integrated into the research and development process. She wrote papers and textbooks, and her theoretical results on transit time, multi-grid valves, and split-anode magnetrons were incorporated rapidly into other authors' textbooks (Rothe/Kleen 1941/1948; Strutt 1940, p. 275).

Eugene Ferguson presented a theory of the history of technology that reduces mathematics to an ancillary science (*Hilfswissenschaft*) in 1992, arguing that despite modern technical advances, good engineering is still as much a matter of intuition and nonverbal thinking as of equations and computation. Perhaps the various engineering disciplines differ here. Thornton Fry (1941, 1964) emphasized mathematics not only as a tool, but also as a method and language. Fry had a doctorate in mathematics and created the first Mathematical Research Department in industry, at Bell Telephone Laboratories in the late 1920s. He had seen that there is a strong tendency to assign to a mathematician the duties and responsibilities of an engineer in an industrial environment, which reduces his availability as a mathematician. He especially emphasized the achievements of men in his Mathematical Research Department, among whom was Claude E. Shannon (1916–2001), who created information theory, Walter Shewhart, father of quality control in the United States, and John R. Carson (1886–1940), an outstanding expert in the theory of electromagnetic wave propagation (using Heaviside's methods) (Fry 1964; Puchta 1997).

Carson's description of a mathematical approach was that: *"The art consists in seeing how to go at the problem; in knowing what simplifications and approximations are permissible while leaving the essential problem intact, in precise formulation in mathematical terms, and finally, in reducing the solution to a form immediately in physical and engineering terms."* (Carson 1936, p. 398).

[33] The miniaturization of valves required taking account of the finite distance from the negative electrode (cathode) to the grid, and to take note of the actual thickness of the grid wire.

[34] Rothe (who obtained his doctorate under Heinrich Barkhausen in 1925) and Kleen (who completed his doctorate in Heidelberg in 1930) worked as heads of valve laboratories at Telefunken.

Zusammenstellung der Formeln für zylindrische Systeme.

Tab. 4. Konstantes Glied des Durchgriffs D_∞.

Laue, Abraham J. J. Thomson	Stabgitter	$\frac{1}{n}\,\frac{ln\,\frac{r_g}{n\,r_d}}{ln\,r_a/r_g}$
Elias	Ringgitter mit $\frac{2\,r_d}{s} < 0{,}1$ und dünner Kathode	$\frac{s}{2\,r_g\,\pi}\,\frac{ln\,\frac{s}{2\,\pi\,r_d}}{ln\,r_a/r_g}$
Tellegen	Schraubengitter	$\frac{s}{2\,r_g\,\pi}\,\frac{ln\,\frac{s}{2\,\pi\,r_d}}{ln\,r_a/r_g}$
Oertel	Ringgitter mit $\frac{2\,r_d}{s} < 0{,}1$ und dicker Kathode	$\frac{s}{2\,r_g\,\pi}\,\frac{ln\,\frac{s}{2\,\pi\,r_d}}{ln\,r_a/r_g}$
Runge	Ringgitter mit $\frac{2\,rd}{s} < 0{,}4$	$\frac{\frac{s}{2\,\pi\,r_d}\,ln\,\frac{s}{2\,\pi\,r_d}+\frac{1}{2}-\frac{\pi\,r_d}{12\,s}\left(1-\frac{1}{8}\left(\frac{r_d}{r_g}\right)^2\right)}{r_g/r_d\,ln\,r_a/r_g}$

Figure 34.6:
Table with formulas for the penetration coefficient D_∞
for cylindrical disposition of electrodes,
systematized and developed by Iris Runge

Runge 1941, p. 238; see also Rothe & Kleen 1943, p. 86;
Rothe & Kleen 1955, chapter 9.7, p. 132f.

This characterizes well Iris Runge's research method. It was similar to today's complex analytical mathematics so common in many fields of technology and even economics, but without the modern computer (Neunzert 2003). Fry then (in 1941) talked about "the fewness of the mathematicians" in the electrical industry: *"The number of mathematicians in the industry is smaller than in communications, and is not easy to estimate because their work is less segregated from other activities."* (Fry 1941, p. 283). He estimated the number of mathematicians in the electrical industry in the United States to be about twenty. In German companies there were no Mathematical Research Departments, but there were a few researchers who used mathematical methods and developed new mathematical formulas for specific practical problems (Tobies 2007a, 2007b, 2008).

Following Moritz Epple (1999), who in discussing the notion of modern mathematics, based upon the work of Herbert Mehrtens (1990), I underline the Janus face of "Classical

Modern Science", which, on the one hand, can be creative and emancipatory (in creating a new discipline of industrial mathematics) and, on the other hand, produce new results, "epistemic objects" and "epistemic techniques", that can become instruments in the machinery of war. Epple cites the mathematicians Max Dehn (1878–1952) and Kurt Reidemeister (1893–1971), who created important new epistemic techniques in topology in this period. These techniques were an essential contribution to modern mathematics in Germany, which also could attain relevance in application. During the Nazi dictatorship, both mathematicians turned to the history of science. Epple characterizes their behaviour as internal emigration, especially that of Reidemeister, who remained in Germany during the Nazi period. We can also interpret Iris Runge's turn to historical work (see footnote 14) as internal emigration. She restricted her work on valve problems to their generalized aspects, and turned to the history of mathematics and physics in her leisure time. These issues will be discussed more extensively in another publication.

Acknowledgments

This paper is part of a project on the beginning of "Technomathematics" in the electrical engineering industry in Germany, focusing on the example of Iris Runge. Special thanks go to Prof. Dr. Herbert Mehrtens, Historical Seminar, Technical University of Braunschweig, where the project is located, and to the German Research Foundation (Deutsche Forschungsgemeinschaft, DFG), which supports the project. I also cordially thank Mrs. Anna-Maria Elstner, Ulm, for the use of Iris Runge's letters; Michael Eckert, Deutsches Museum Munich; Rita Meyer-Spasche, Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Munich; Brenda Winnewisser, The Ohio State University, Columbus, Ohio; Karl Stephan, Texas State University, San Marcos, Texas, for their important suggestions; and Roger H. Stuewer, University of Minnesota, Minneapolis, for his careful and thoughtful editorial work on my paper.

34.7 Bibliography

Archive material:

(DTMB) Deutsches Technikmuseum Berlin, Historisches Archiv, Firmenarchiv AEG-Telefunken, Bestand 1.2.060 C, Signaturen 5065, 5092, 5125, 5132, 5157, 5212, 5292, 6603, 6604, 6614, 6734.

(HATUM) Historisches Archiv der Technischen Universität München, Promotion K. Meyer.

(LAB) Landesarchiv Berlin, Rep. 231, Bestand Osram.

(Privatnachlass) Privatnachlass Iris Runge, in possession of Frau Anna-Maria Elstner, Ulm.

(StBPK) Staatsbibliothek Berlin Preußischer Kulturbesitz, Handschriftenabteilung, Nachlass Runge – du Bois-Reymond, Depositum 5.

(UA Jena) Universitätsarchiv Jena, Promotionsakten.

Barkhausen, Heinrich: Die Vakuumröhre und ihre technischen Anwendungen, Part II. In: *Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie* **16** (1920).

Barkhausen, Heinrich: Elektronen-Röhren: I. Elektronentheoretische Grundlagen. II. Verstärkung schwacher Wechselströme. Leipzig 1923 (= extended version of an official script, which he wrote during the First World War, as a member of Torpedo Service in Kiel, in 1918, first published in: *Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie* Volumes **14, 16, 18**, ^{2}1924.

Barkhausen, Heinrich: *Lehrbuch der Elektronenröhren und ihre technischen Anwendungen.* Leipzig: Hirzel 1928.
Vol. 1: Allgemeine Grundlagen ^{5}1945 ^{11}1965;
Vol. 2: Verstärker ^{5}1954;
Vol. 3: Rückkopplung ^{5}1949;
Vol. 4: Gleichrichter und Empfänger ^{5}1950.

Bayart, Denis: The fact-theory dialogue in an industrial context: the case of statistical quality control. In: *European Management Review* **3** (2006), pp. 87–99.

Bayart, Denis; Crépel, Pierre: Statistical control of manufacture. In: *History and Philosophy of the Mathematical Sciences.* Edited by Ivor Grattan-Guinness, Vol. 2. London/New York: Routledge 1994, pp. 1386–1391.

Becker, Richard; Plaut, Hubert; Runge, Iris: *Anwendungen der mathematischen Statistik auf Probleme der Massenfabrikation.* Berlin: Julius Springer 1927, ^{2}1930.

Burcham, W. E. and E. D. R. Shearman: *Fifty years of the cavity magnetron. School of Physics and Space Research.* Birmingham: The University of Birmingham, February 1990.

Carson, John R.: Mathematics and Electrical Communication. In: *Bell Labs Record* **14** (1936), pp. 397–399.

Clayton, Robert and Joan Algar: The GEC Research Laboratories 1919–1984 (IEE History of Technology Series; 10) 1989.

Courant, Richard; Robbins, Herbert; Runge, Iris and Arnold Kirsch (eds.): *Was ist Mathematik?* Berlin et al.: Springer 1962, ^{2}1967, ^{4}1992, ^{5}2001. Translated from American Original: Courant, Richard and Herbert Robbins: *What is Mathematics?* New York 1941.

Dahms, Hans-Joachim and Frank Halfmann: Die Universität Göttingen in der Revolution 1918/19. In: *1918. Die Revolution in Südhannover.* Begleitheft zur Dokumentation des Museumsverbundes Südniedersachsen. Göttingen 1988, pp. 59–82.

Dörfel, Günter and Dieter Hoffmann: *Von Albert Einstein bis Norbert Wiener – frühe Ansichten und späte Einsichten zum Phänomen des elektronischen Rauschens.* Berlin (Max Planck Institute for the History of Science; Preprint 301) 2005.

Eckert, Michael: *Die Atomphysiker. Eine Geschichte der theoretischen Physik am Beispiel der Sommerfeldschule.* Braunschweig: Vieweg 1993.

Eisenhart, Churchill: Walter Andrew Shewhart. In: *Biographical Dictionary of Mathematicians.* Vol. 4. New York: Charles Scribner's Sons; Toronto: Collier Macmillan Canada; New York, Oxford, Singapore, Sydney: Maxwell Macmillan International 1992, pp. 2276–2280.

Epple, Moritz: *Die Entstehung der Knotentheorie. Kontexte und Konstruktionen einer modernen mathematischen Theorie.* Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg 1999.

Fleck, Ludwik: *Genesis and Development of a Scientific Fact.* Chicago: The University of Chicago Press 1979. Originally published in German. Basel: Benno Schwabe Co. 1935; new German edition Frankfurt am Main: Suhrkamp 1980.

Fränz, Kurt (1986): Erinnerungen an viele Jahrzehnte Funktechnik. In: *etv-mitteilungen* **9** (1986), Isssue 2, pp. 3–12.

Fry, Thornton C.: Industrial Mathematics. In: *The Bell System Technical Journal* **20** (1941), pp. 255–292.

Fry, Thornton C.: Mathematicians in Industry – The First 75 Years. In: *Science* (U.S.A.), N. S. **143** (1964), No. 3609, pp. 934–938.

Gasca, Ana Millán: Organization and Mathematics: A Look into the Prehistory of Industrial Engineering. In: *Technological Concepts and Mathematical Models in the Evolution of Modern Engineering Systems.* Edited by Mario Lucertini, Ana Millán Gasca and Fernando Nicolò. Basel, Berlin, Boston: Birkhäuser 2004, pp. 21–51.

Gasca, Ana Millán: *Fabbriche, sistemi, organizzazioni. Storia dell'ingegneria industriale.* Milan: Springer (Technik; III) 2006.

Götz, Markus; Meyer-Spasche, Rita and Harold Wetzner: A study of a simple gyrotron equation. In: *Journal of Physics A: Mathematical Theory* **40** (2007), pp. 2203–2218.

Gundlach, Friedrich-Wilhelm: Neuere Untersuchungen über Dezimeterwellensender mit Schlitzanogenmagnetrons. In: *Hochfrequenztechnik* **48** (1936), Nr. 6, pp. 201–214.

Gundlach, Friedrich-Wilhelm: Laufzeitröhren. In: Goubau, Georg und Jonathan Zenneck (eds.): *Elektronenemission, Elektronenbewegung und Hochfrequenztechnik, Part 1.* Naturforschung und Medizin in Deutschland 1939–1946, Vol. 15. Für Deutschland bestimmte Ausgabe der FIAT Review of German Science. Wiesbaden: Dieterich'sche Verlagsbuchhandlung Inhaber W. Klemm 1948, pp. 156–217.

Habann, Erich: Eine neue Generatorröhre. In: *Hochfrequenztechnik und Elektroakustik* **24** (1924), pp. 115–120, 135–141.

Krüger, Lorenz; Daston, Lorraine and Michael Heidelberger (eds.): *The Probabilistic Revolution. Vol. 1 Ideas in History.* Cambridge, Mass.: MIT Press 1987.

Lanchester, Frederick William: *Aerodynamics.* London 1907. *Aerodonetics.* London 1908. Translated into German by Carl and Aimée Runge [and Iris Runge]. *Aerodynamik.* Leipzig: B. G. Teubner. Vol. 1, 1909, Vol. 2, 1911.

Luxbacher, Günther: *Massenproduktion im globalen Kartell. Rationalisierung in der Glühlampen- und Radioröhrenindustrie bis 1945.* Berlin/Diepholz: GNT-Verlag (Aachener Beiträge zur Wissenschafts- und Technikgeschichte des 20. Jahrhunderts; Vol. 4) 2003.

Lyon, Ed: The Real Story of the Magnetron. In: *Antique Wireless Association Review* **9** (1995), pp. 181–203.

Mehrtens, Herbert: *Moderne – Sprache – Mathematik.* Frankfurt am Main: Suhrkamp 1990.

Mehrtens, Herbert: Mathematics and War: Germany 1900–1945. In: *National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology: Studies in the Twentieth Century History.* Edited by Paul Forman and José Manuel Sánchez-Rón. Dordrecht: Kluwer 1996, pp. 87–134.

Millman, Sidney (ed.): *A History of Engineering and Science in the Bell System. Communication Sciences (1925–1980).* New York: AT & T Bell Laboratories 1984.

Müller-Bungart, Michael: *Revenue management with flexible products: models & methods for the broadcasting industry.* Heidelberg: Springer/Lavoisier (Lecture notes in economics & mathematical systems; vol. 596) 2007.

Neunzert, Helmut: Technomathematik. In: *Berufs- und Karriere-Planer Mathematik. Für Studierende und Hochschulabsolventen ein Studienführer und Ratgeber.* Vieweg: Wiesbaden [1]2001, [2]2003, pp. 96–101.

Pirani/Runge (1931)
Pirani, Marcello: *Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik.* Second Improved Edition, edited by Dr. Iris Runge. Berlin/Leipzig: Walter de Gruyter & Co. (Sammlung Göschen; 728) 1931.

Puchta, Susann: Why and how American Electrical Engineers developed 'Heaviside's Operational Calculus'. In: *Archives internationales d'histoire des Sciences* vol. **47** (1997), pp. 57–107.

Richenhagen, Gottfried: *Carl Runge (1856–1927). Von der reinen Mathematik zur Numerik.* Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht [1]1985, [2]1997.

Rothe, Horst and Werner Kleen: *Grundlagen und Kennlinien der Elektronenröhren.* Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Becker & Erler (Bücherei der Hochfrequenztechnik; Vol. 2) [1]1940, [2]1943, Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig [3]1948.

Rothe, Horst and Werner Kleen: *Elektronenröhren als Schwingungserzeuger und Gleichrichter.* Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. (Bücherei der Hochfrequenztechnik; Vol. 5) 1941, [2]1948.

Rothe, Horst and Werner Kleen: *Hochvakuum-Elektronenröhren, Vol. 1 Physikalische Grundlagen.* Frankfurt am Main: Akademische Verlagsgesellschaft mbH 1955.

Rukop, Hans: Die Telefunkenröhren und ihre Geschichte. In: *25 Jahre Telefunken 1903–1928. Festschrift der Telefunken Aktiengesellschaft.* Berlin 1928, pp. 114–154.

Runge, Carl: *Graphical methods.* A course of lectures delivered in Columbia University, New York, October, 1909, to January 1910. New York: Columbia University Press 1912. German Translation: *Graphische Methoden.* Leipzig, Berlin: B. G. Teubner (Sammlung mathematisch-physikalischer Lehrbücher, edited by E. Jahnke; Vol. 18) 1914, [2]1919, [3]1928.

Runge, Iris: *Über Diffusion im festen Zustande.* Doctoral Thesis, 50 pages, University of Göttingen 1921.

Runge, Iris: Über einen Weg zur Integration der Wärmeleitungsgleichung für stromgeheizte strahlende Drähte. In: *Zeitschrift für Physik* **18** (1923) pp. 228–231.

Runge, Iris: Die Beurteilung von Ausschußprozentsätzen nach Stichproben. In: *Zeitschrift für technische Physik* **17** (1936), pp. 134–138 and in: *Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen aus dem Osram-Konzern; Vol. 4* (1936), pp. 149–151.

Runge, Iris: Zur Berechnung des Verhaltens von Mehrgitterröhren bei hohen Frequenzen. In: *Telefunkenröhre* **Vol. 10** (1937a), pp. 128–142 und in: *Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen der Osram-Gesellschaft; Vol. 5* (1943) pp. 224–234.

Runge, Iris: Laufzeiteinflüsse in Elektronenröhren. In: *Zeitschrift für technische Physik* **18** (1937b), p. 438–441 und in: *Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen der Osram-Gesellschaft; Vol. 5* (1943), p. 235–238.

Runge, Iris: Die Wirkungsweise der 4-Schlitz-Magnetfeldröhre. In: *Die Telefunken-Röhre* Heft **18** (1940), p. 33–49.

Runge, Iris: Die Berechnung des Durchgriffs auf Grund der Potentialverteilung. In: *Die Telefunken-Röhre* Heft **21/22** (1941), pp. 229–242.

Runge, Iris: *Carl Runge und sein wissenschaftliches Werk.* Vandenhoeck & Ruprecht: Göttingen (Abhandlungen der Göttinger Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 3. Folge, 23) 1949.

Runge, Iris and Rudolf Sewig: Über den inneren Photoeffekt in kristallinen Halbleitern. In: *Zeitschrift für Physik* **62** (1930), pp. 726–729; and in: *Technisch-wissenschaftliche Abhandlungen aus dem Osram-Konzern; Vol. 2* (1931), pp. 336–338.

Runge, Iris and Arnold Sommerfeld: Anwendung der Vektorrechnung auf die Grundlagen der geometrischen Optik. In: *Annalen der Physik* (4) **35** (1911), pp. 277–298.

Schottky, Walter: Über Hochvakuumverstärker, Part I and II. In: *Archiv für Elektrotechnik* **8** (1919), pp. 1–31, Part III, pp. 299–328.

Serchinger, Reinhard W.: Walter Schottky und die Forschung bei Siemens. In: *Oszillationen. Naturwissenschaftler und Ingenieure zwischen Forschung und Markt.* Edited by Ivo Schneider, Helmuth Trischler and Ulrich Wengenroth. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag (Abhandlungen und Berichte des Deutschen Museums, Neue Folge; Vol. 13) 2000, pp. 167–209.

Stephan, Karl: Experts at Play. Magnetron Research at Westinghouse, 1930–1934. In: *Technology and Culture* **42** (2001), pp. 737–749.

Strutt, Maximilian Julius Otto: *Moderne Mehrgitter-Elektronenröhren. Bau – Arbeitsweise – Eigenschaften – Elektrophysikalische Grundlagen.* Berlin: Julius Springer (Second revised Edition) 1940 (first edition in two parts 1937 and 1938).

Tammann, Gustav: *Lehrbuch der Metallographie. Physik und Chemie der Metalle und ihrer Legierungen.* Leipzig, Hamburg: Verlag von Leopold Voss 1914; ^{2}1921, ^{3}1923, ^{4}1932.

Tobies, Renate: Graphische mathematische Methoden für das Lösen praktischer Probleme. Iris Runge als Mittlerin in der angewandten Forschung und Industrie. In: *Von der Tontafel zum Internet. Der Einfluß des Mediums auf die Entwicklung der Mathematik.* Edited by Christa Binder. Wien: Technische Universität 2006, pp. 175–183.

Tobies, Renate: *Techno- und Wirtschaftsmathematik in der Glühlampen- und Elektronenröhrenforschung bei Osram und Telefunken.* Berlin (Max Planck Institute for the History of Science; Preprint 325) 2007a (54p.).

Tobies, Renate: Zur Position von Mathematik und Mathematiker/innen in der Industrieforschung, am Beispiel früher Anwendung von mathematischer Statistik in der Osram GmbH. In: *NTM-International Journal of History and Ethics of Natural Sciences, Technology and Medicine* **15** (2007b), pp. 241–270.

Tobies, Renate: Tranzdisziplinarität – Forscher/innen in der elektrotechnischen Industrie. In: *"Aller Männerkultur zum Trotz": Frauen in Mathematik, Naturwissenschaften und Technik.* Edited by Renate Tobies. Frankfurt am Main, New York: Campus 2008a, pp. 307–334.

Tobies, Renate: "Berechnen statt Stöpseln (Probieren)" – Neuer Denkstil im Industrieforschungslaboratorium am Beispiel von Iris und Wilhelm Runge. In: *Tagungsband der Fachsektion Geschichte der Mathematik.* Edited by Ingrid Hupp and Peter Ullrich. Augsburg: Dr. Erwin Rauner Verlag (Algorismus, Studien zur Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften) 2008b (in print).

Vyse, Barry and George Jessop: *The Saga of the Marconi Osram Valve. A history of Valve-Making.* Middlesex: Pinner 2000.

Figure 35.1:
Osborne's Handy

Ling, Rich: The mobile connection. The cell's phone impact on society. Amsterdam, New York: Elsevier (Morgan Kaufman) 2004, p. 170.

Society on the move: The success story of the mobile phone

Erika Linz (Köln and Bonn-Aachen)

Abstract: Immer in Kontakt: Der Siegeszug des Handys

In nur fünfzehn Jahren ist das Mobiletelefon zu einem festen Bestandteil des täglichen Lebens geworden. Keine andere Kommunikationstechnologie zuvor hat je solch eine rasante Verbreitung erfahren. In vielen Industrienationen übersteigt die Zahl der Handyverträge inzwischen die Zahl der Einwohner, und auch in den meisten Entwicklungsländern ist die Mobiltechnologie bereits weit stärker verbreitet als Festnetztelefon und Internet. Ursprünglich vor allem als Autotelefonsystem konzipiert, wurde der Nutzen der Mobilfunktechnologie lange Zeit primär im Gebrauch als mobiles Kommunikationsmedium für unterwegs gesehen. Wie die Entwicklungen der letzten Jahre zeigen, verdankt sich der unvorhergesehene Siegeszug des Handys aber weit mehr noch dem Potential einer ständigen Erreichbarkeit. Die neue Möglichkeit einer immerwährenden Verfügbarkeit hat grundlegende soziale Wandlungsprozesse eingeleitet, die alle Bereiche des gesellschaftlichen Lebens betreffen, vom Arbeitsplatz über die Familien- und Sozialbeziehungen, bis hin zu den Formen der politischen Partizipation. Nicht nur unser Kommunikationsverhalten, sondern auch das Verhältnis von Privatheit und Öffentlichkeit sowie die soziale Relevanz von Raum und Zeit sind nachhaltigen Veränderungen unterworfen.

In the nineteen-fifties Harold Osborne, the former chief engineer of AT & T, sketched the following image of future communication habits:

> *"Let us say that in the ultimate, whenever a baby is born anywhere in the world, he is given at birth a number that will be his telephone number for life. As soon as he can talk, he is given a watchlike device with 10 little buttons on one side and a screen on the other. Thus equipped, at any time when he wishes to talk with anyone in the world, he will pull out the device and punch on the keys the number of his friend. Then, turning the device over, he will hear the voice of his friend and see his face on the screen, in*

> *color and in three dimensions. If he does not see him and hear him, he will know that the friend is dead."*[1]

What Osborne regarded as remote future has in many respects caught up with reality. Even though a switched-off mobile phone does not yet indicate its owner's death, Osborne's vision bears a striking resemblance to the current state of technology. Today's mobile phones are not much larger than the device he describes; they need not be held in the hand during a call but can be used, like a watch, while performing other tasks; and they are not restricted to voice-calls any more but now allow for instant transmission of pictures and videos. Another striking fact is the impact of mobile phones on communication routines anticipated by Osborne. The potential for perpetual contact that he emphasizes in his prediction is exactly what has turned out to be a driving force in the unexpected success story of the mobile phone.

Mobile communication technology is spreading around the world faster than any other communication technology in history. In only one decade the mobile phone has become an integral part of daily life. Its success is not restricted to Western societies but extends to all continents. Originally introduced as a technology for communication on the move it became a ubiquitous and rather sedentary communication medium. This article intends to show that the mobile phone is not only generating new communication practices but is fundamentally changing our accessibility, our interpersonal relationships as well as our relationship to place and time. After giving a short overview on the worldwide diffusion of mobile telephony the article will focus on the social and communicative impacts resulting from mobile technology. Current trends of mobile phone use indicate that we are only at the beginning of a development that will profoundly transform our society and culture.

35.1 The diffusion of the mobile phone

The diffusion of mobile technology has seen a dramatic growth since the mid-1990s. In only one decade the world-wide number of mobile phone subscribers increased from 91 million in 1995 up to 2.7 billion in 2006. According to the most recent data from the International Telecommunication Union (ITU), the United Nation's specialized agency for information and communication technology, the total number of mobile cellular subscribers surpassed the 3 billion mark in August 2007.[2] Today, the diffusion of the mobile phone vastly exceeds that of landline phones and internet access. Whereas the landline penetration rate stood at about 20 percent and internet users rate at about 17 percent in 2006, mobile penetration worldwide had reached more than 40 percent by the end of 2006.

In many European countries the number of mobile phones already exceeds the number of inhabitants. In 2006 the penetration rate exceeded 100 percent in no less than 17

[1] Conly, Robert Leslie 1954, p. 87.

[2] Cf. `http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/ict/index.html`.
Unless otherwise stated, all statistical data refer to the ITU free statistics for 2006.

member states of the European Union; Luxembourg (171%), Italy (134%), Lithuania (133%) and the United Kingdom (109%) showing the highest values. The average penetration rate was above 103 percent of the EU population with an increase of 18.6 percent in only two years (between October 2004 and October 2006).[3]

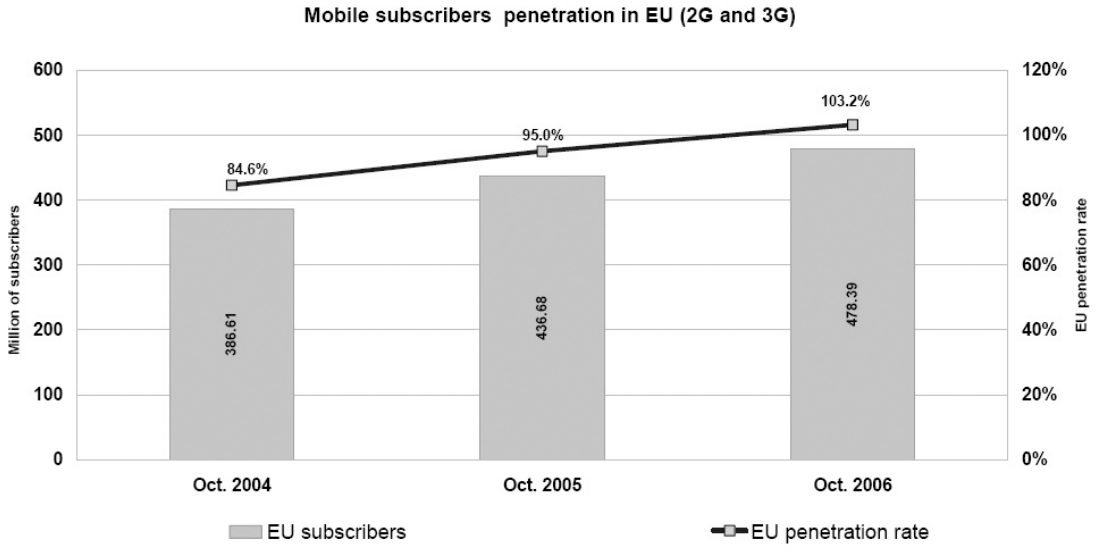


Figure 35.2:
Mobile subscribers penetration in EU

12th Report of the European Commission on European Electronic Communications Regulation and Markets 2006, March 2007, p. 33.

Today, mobile use is growing the most rapidly in the Middle East, Sub-Saharan Africa, China, South and South-West Asia; with China and India showing the highest growth rates. In many of these regions, especially in rural areas, the mobile does not replace or complement the fixed-line phone, but is the first and only access to a personal communication medium. Particularly in Africa, the least-wired continent, with an average of fewer than three fixed lines per hundred people, mobile technology compensates for the lack of fixed-line infrastructure. In Tansania, for example, 97 percent of people reported that they have access to a mobile phone – their own, a friend's or a hired one – as compared to only 28 percent who have access to a fixed-line phone.[4]

In China, in 1990 there were only 20,000 mobile phone subscribers nationwide.[5] The overall Chinese teledensity was only 1.1 percent. Since then China has shown an impressive boom in the adoption of mobile technology that has turned the country into the world's leading mobile phone market. By the end of 2006 subscriptions had reached 460

[3] Cf. 12^{th} Report of the European Commission on European Electronic Communications Regulation and Markets 2006, March 2007, p. 37.
[4] Cf. Zuckerman 2007.
[5] Cf. Castells et al. 2007, p. 19.

million mobile phone users and this extraordinary number is still growing rapidly. According to the Chinese Industry and Information Ministry, China's mobile phone users totaled 565 million at the end of February 2008, adding nearly 18 million new mobile users in just the first two months of the year.[6]

A similar success story can be observed in India, which has overtaken China in terms of mobile growth rates. Since 2001 India has almost doubled the number of subscribers year by year. However, despite the huge number of subscriptions with a total of 166 million in 2006, the penetration rate is just over 14 percent. The impressive growth rates notwithstanding, it appears that in many regions, particularly in developing countries, the future of mobile communication has only just begun.

35.2 From mobility to constant connectivity

Given the unprecedented success of the mobile phone, it is astonishing how long the desire for a mobile communication device has been underestimated. In fact, the mobile phone provides an impressive example of how difficult it is to predict the demand, the impact and the consumer acceptance of a technology. Until recently, hardly any telecommunication company, government or research institution believed there would be a mass market for cellular technology. As late as 1980 the consultancy firm McKinsey predicted a mere 900.000 subscribers worldwide by the turn of the millennium. But the correct figure was more like 700 millions subscribers.[7] Although the roots of cellular technology go back to the nineteen-forties, the scope and importance of this technological invention were not recognized until the nineteen-eighties. As the Computer Scientist and sociologist Barry Brown from the University of California has put it, the history of the mobile phone is "almost a history of *non*-development".[8]

It is not easy to trace the reasons why the mobile phone did not receive much attention for a long time. First of all there are several technical reasons why it took six decades for the early inception of cellular technology to achieve its ubiquitous world-wide adoption and to turn the idea of cellular technology into a mass-consumer product. But these difficulties do not satisfactorily account for the delay of the cellular revolution. In contrast to the huge technological and financial efforts invested in developing and establishing video-phone technology on the market, for instance, the idea of mobile phoning did not appear to generate much interest.[9] Even after the technological conditions were in place it took two further decades to establish the current system. Governmental regulation, mistaken business decisions and a lack of research interest impeded the start of the mobile revolution.[10]

[6] According to a report of the official Xinhua news agency quoted by `http://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2008-03/artikel-10410329.asp` (2008-03-25).

[7] According to the statistics of the International Telecommunication Union (`http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/at_glance/KeyTelecom99.html`, 2008-03-10). McKinseys erroneous estimation is reported by Brown 2001, p. 3 and by Farley 2007, p. 6.

[8] Brown 2001, p. 7.

[9] Cf. Brown 2001.

[10] Cf. Brown 2001, p. 8; cf. Farley 2007.

Figure 35.3:
Early portable unit made by Spectrum Cellular Corporation
http://www.privateline.com/PCS/history9.htm

One reason why mobile technology was left on the side for such a long time might be that telecommunication researchers and institutions focused mainly on the aspect of mobility and tended to overlook the mobile's potential for continuous accessibility. First developed as a car-phone system, mobile communication technology has been primarily seen as a technology for communication on the move. Accordingly, in the early stages of wireless communication it served as a substitute for the landline phone when people were on the move. However, the mobile phone's attraction seems to be more its capacity and use for perpetual connection: *"The key feature in the practice of mobile communication is connectivity, rather than mobility."*[11] In developing countries, *"the immediate benefit for people is that of connectivity, associated with having a means of communication whether mobile or not"*.[12] Particularly in regions with poor landline infrastructure, the mobile phone frequently provides the first and only opportunity to communicate on the phone. In these cases it is mainly used from a single fixed location, and is often shared by a group of people, a household or a rural community.

[11] Castells et al. 2007, p. 248.
[12] Castells et al. 2007, p. 218.

But also in Western countries with a dense landline infrastructure, mobile communication is increasingly taking place from stable locations, such as the home or the office. According to several empirical studies of European usage, mobile phones are now mostly used from permanent locations. In 1996 only 20% of mobile calls were made from a fixed place, but by 2004 the number of mobile fixed-place calls had already overtaken the calls on the move.[13]

Figure 35.4:
The first cell phone presented
by it's inventor Martin Cooper in 1973

Although "the mobile phone was born as a 'mobile' technology", connected to the world of work, it changed its identity when it entered the private sphere:[14]

> *"Despite the fact that the mobile phone was designed as a technology to be used while moving from one place to another, users have basically redesigned it as an instrument of individual communication. The evitable consequence*

[13] Cf. Fortunati 2002 and Fortunati 2005a, p. 62 f.
[14] Cf. Fortunati 2001, p. 97.

> *of this different reading of the technological object has been that it is used anywhere the individual might find him/herself, i. e. not just while moving from place to place, but also at home, in the workplace, in restaurants, and so on."*[15]

The exploding expansion of the mobile phone began at exactly the moment when the use shifted from a mobile device in working contexts to an instrument of constant accessibility in domestic contexts. Nowadays the mobile phone is chiefly used as a device for ubiquitous and permanent connectivity that provides access to the user's social network from any place and at any time.

35.3 Social and communicative impacts of mobile communication technology

The rapid integration of mobile communication technology into everyday life has initiated a process of social transformation that will mean profound changes to our society. In the following, some examples may illustrate how the changes caused by this new option for perpetual availability are affecting all areas of social organization and social practice: personal relationships, family life, the workspace and the sociopolitical realm.

35.3.1 The expansion of the private sphere: "ambulant privacy" and "nomadic intimacy"

In contrast to mass media such as radio, television and the internet, which all bring the public world into the private sphere, the mobile phone brings the private sphere into the public world. Today, it is primarily used as an individual medium to maintain personal relationships liberated from the shackles of time and place. By enabling people to keep in touch with their social network regardless of location and situation it has initiated a process of extending the scope of the private domain. One obvious consequence of the new connectivity which can be observed everyday is the privatization of public space. Public places such as streets, stations, restaurants, trains and buses are becoming further and further invaded by private conversations. The mobile phone amplifies the trend to engage in "chosen socialness" with familiar relationships in public, rather than to engage in communication with strangers who are actually physically present. Thereby, public places are increasingly losing their character as places for "chance socialness", i. e. for coincidental encounters with those who are passing by.[16] People tend to absent themselves from the surrounding physical space while they are involved in a communication with a distant interlocutor on the phone. By shifting their attention to the virtual space of communication they are entering a state of "absent presence".[17] The consequence is that

[15] Fortunati 2005a, p. 63 f.
[16] Cf. Fortunati 2002, p. 515.
[17] Gergen 2002.

the stimuli of public places are no longer experienced to the full, lived in all their richness, but are *"kept in the background of an itinerant cellular 'intimacy'* [...] *Therefore, public space becomes a background, the public dimension is put into a minority, takes on less importance, and chance socialness becomes less attractive."*[18]

In a sense, the behavior of mobile users in public can be compared to the situation of car drivers in contrast to pedestrians on the street, or travelers on public transportation systems insofar as the mobile phone produces a similar effect to the closed space of a car: In keeping their users away from contact to strangers and allowing them to remain in a private space, both create a kind of "ambulant privacy".[19]

Hence, one main social impact of mobile communication is to provide what Fortunati has called a new form of "nomadic intimacy": People remain embedded in their personal social network wherever they are. They are becoming like "snails", carrying their "relational house" on their back.[20]

35.3.2 The emergence of new communication rituals and routines

The new digital media are commonly considered to alienate communication and to diminish personal face-to-face contact. However, empirical research into current changes of communicative behavior reveals a somewhat different picture. Numerous studies about communication practices – particularly of young people – indicate that communication via mobile phones does not provide a substitute for face-to-face-encounters but rather supplements these forms of communication.

In contrast to mass media and many forms of web-based communication, most phone communication originates within face-to-face interactions. The majority of calls and short messages on the mobile take place between people who also meet personally on a regular basis. Most of these calls are made to prepare or complement personal gatherings rather than to supersede them.[21] In fact, it appears to be mainly *"the local peer group that is the locus of mobile telephone interaction."*[22] Particularly in industrial nations, where the mobile phone co-exists to a fixed-line phone tradition, the mobile phone has become an important medium for the daily negotiation of close relationships. Here, it is frequently used for maintaining perpetual contact with an intimate circle of friends and family members.

The integration of the mobile phone into people's daily lives not only creates higher expectations for constant availability, but also creates expectations for more intensified calling activities. This becomes particularly apparent in the private use of the mobile phone. In close relationships, the potential for constant accessibility seems to create a new desire and demand for demonstrating personal involvement and bonding even during times of physical absence.

[18] Fortunati 2002a, p. 515.
[19] Cf. Geser 2004, p. 21.
[20] Fortunati 2005b, p. 217.
[21] Cf. Geser 2004, p. 18.
[22] Ling 2004, p. 190.

On the one hand, there are some new freedoms. Mobile phoning and text messaging open up new opportunities to remain connected to private relationships in situations that are normally under institutional control. By enabling users to maintain their private communication in institutional contexts such as schools or offices, the mobile phone enhances individual autonomy and diminishes the scope of authoritative surveillance. This trend is not restricted to official institutions but extends to the domestic sphere. Studies from different European and Asian countries show that young people intensively use the mobile phone at home to continue communication with their peer group beyond parental control.[23] For example, in conservative cultures with strong hierarchical family ties the mobile phone actually enables children or young women to circumvent parental authority and keep in touch with friends and lovers even at home.

On the other hand, there are new obligations. People are increasingly expected to express their personal commitment to intimate relationships by additional phone calls and text messages. Accordingly, a large amount of phoning and text messaging is primarily dedicated to constitute a kind of "remote presence"[24] regardless of time and place and to provide an *"ongoing background awareness of others"*.[25] In these contexts the mobile phone is frequently used to affirm existing patterns of bonding rather than to exchange new information.

The currently observable "move from instrumental to expressive use of the mobile phone"[26] has lead to the emergence of new forms of ritual communication and norms regarding adequate relationship-confirming behavior. Ritualistic greetings and repetitive expressions of affections are already one of the dominant components of text messaging. These ritualistic reinforcements of emotional bonds are becoming more and more important in the daily negotiation of intimate relationships. They are part of a general trend *"to phone more frequently and to create a more defined 'connected' mode of telephone interaction"*[27] based on short vocal and textual messages. *"It is the frequency and continuity of this flow, which guarantees the strength of the communicators' mutual engagement in the relationship and not necessarily the content of the communication."*[28] Studies on mobile communication behavior among Scandinavian teenagers report for instance the emerging norm that personal appointments between lovers are expected to be corroborated by a subsequent text message which reinforces their emotional commitment.[29] It can be assumed that in the future this trend will be further intensified by the use of MMS messages as a regular part of daily communication. Initial surveys on the role of photography in mobile communication indicate that it is adopted as an additional medium for creating a feeling of "being together".[30] MMS messages appear to be mainly used for purposes of instant expression and sharing ambient awareness with

[23] Cf. Ling 2004, p. 83 ff.; Ito 2005; Castells et al. 2007, p. 127 ff.
[24] Cf. Ling 2004, p. 192.
[25] Castells et al. 2007, p. 92.
[26] Castells et al. 2007, p. 153.
[27] Licoppe 2003, p. 179.
[28] Licoppe 2003, p. 181 f.
[29] Cf. Harper/Gosset 2005, p. 216.
[30] Cf. Rivière 2005.

close friends and family members. Thereby, they further enhance the social practice of using mobile phones for keeping alive a "full-time intimate community".[31]

It is this general tendency towards a perpetual reaffirming of intimate social relationships that motivates some sociologists to speak of a "conservative bias" in mobile telephony. According to Geser and Roos mobile phones recreate traditional communal relationships under modern conditions of high mobility and globality: *"they enable the type of (virtual) communication and interaction which characterizes premodernity: people who never move far, live in small towns and villages near each other, everybody knows where everybody is etc."*[32]

35.3.3 The softening of time scheduling

One major impact of mobile telephony is the weakening of time regulation in everyday life. Alongside the ritualistic re-enforcing of intimate relationships, the mobile phone is frequently used for coordinating activities. The continuous and instant accessibility provided by mobile phones allows for a new form of flexible scheduling that appears to deeply transform the social relevance of time tabling. The development of mobile telephony challenges the established forms of time-based social coordination which arose from the development of portable time keeping devices. After the invention of pocket and wrist watches a detailed time scheduling and temporal preplanning became crucial to everybody's daily life. Sophisticated transportation infrastructure and the complexity of modern society required a rigid time management of social activities. As long as people were not constantly available appointments needed to be planned in advance and to be made binding. Consequentially, in many cultures punctuality became a social norm that guaranteed the unobstructed regulation of social life.[33] The mobile phone is changing all this.

The ubiquitous diffusion of mobile phones has opened up new possibilities for spontaneous coordination and rescheduling at short notice. Agreements can be made and modified by direct interaction between those who have to coordinate their activities; they can be renegotiated and redirected in real time. In addition, new forms of iterative coordination are emerging. Private appointments are increasingly made or rearranged in an ongoing process of progressively refining the details of where and when a meeting will take place. *"Thus, we move away from a type of linear conception of time in which meetings, social engagements, appointments, and assignments are fixed points at various time points to a situation in which these elements can, to some degree, be negotiated."*[34] The shift from time-based coordination to mobile coordination permits a new "freedom of punctuality" and weakens the power of time regulation, making social life more *"volatile and open to short-term redispositions"*[35].

[31] Castells et al. 2007, p. 92.
[32] Geser 2004, p. 10.
[33] Cf. Ling, p. 63 ff.
[34] Ling 2004, p. 76.
[35] Geser 2004, p. 20.

35.3.4 The creation of instant communities of interest

One important consequence of the new ability for mobile-based coordination is the emergence of largely spontaneous groupings and communities. In addition to the flexible negotiation of small-scale appointments, the mobile phone has given rise to larger forms of social coordination such as major events and political mobilization. Mobile phone chaining is used to spread information from person to person in order to organize previously unannounced gatherings or events in an extremely short time. Such events might be reserved for a small circle of contacts such as spontaneously organized parties which give the invited guests membership of an exclusive insider group. However, mobile phone chaining also provides a powerful tool for spontaneous mass mobilization and is increasingly used for expressing sociopolitical protest. By enabling the instant and uncontrolled communication from person to person mobile phones allow for creating ad hoc horizontal communication networks which defy political or business control. In contrast to mobilizations initiated via the internet, such communication networks show the additional advantage of enhanced credibility because the information is mostly received from a known source.[36]

There are some now famous examples demonstrating that mobile phones may adopt a significant role in the organization of political mass protest as well as in a flexible reaction to police strategies during confrontational demonstrations.[37] "Smart mobs", massive protests organized ad hoc by text messages, have led to political change in the Philippines, in Spain and the Ukraine.[38]

January 2001, during the four-day demonstrations known as "People Power II" in the Philippines, was the first time that the mobile phone played an instrumental part in toppling a national president. President Estrada was accused of corruption and extensive mishandling of public funds. At the end of 2000 opposition groups achieved a Senate impeachment trial against Estrada. But in a crucial meeting relating to the trial on 16 January, senators voted by a majority against revealing documents which were believed to prove Estrada's secret transactions.[39] Within hours massive demonstrations began which lasted four days. It was the text messaging that enabled the immediate mobilization of tens of thousands as a reaction to the voting. During the four days of protest the number of text messages increased from a normal daily average of 24.7 million up to 70 million messages a day.[40] By 20 January the smart mob had proved its power: President Estrada was escorted out of the Palace, and Gloria Arroyo was sworn in as the new president.

In Spain, the mobile phone served as a successful communication medium for the flash mobilization after the terrorist attack in 2004 when it became evident that the government tried to conceal the true reasons behind the bombing. There are many

[36] Cf. Castells et al. 2007, p. 185.
[37] In the battle of Seattle against the WTO, for instance, mobile phones were used for the first time to react spontaneously and flexibly to police tactics.
[38] Cf. Zuckerman 2007.
[39] Cf. Castells et al. 2007, p. 186 f.
[40] Cf. Castells et al. 2007, p. 188.

other examples for the power of mobile communication in organizing spontaneous mass mobilizations such as the pro-democracy demonstrations in the Ukraine, known as the "orange revolution" or the Korean presidential elections in 2002.[41]

In all theses cases the personal nature of the mobile phone creates specific communication networks of high credibility. *"The network logic of the communication process makes it a high-volume communication channel, but with a considerable degree of personalization and interactivity. In this sense, the wide availability of individually controlled wireless communication effectively bypasses the mass-media system as a source of information, and creates a new form of public space."*[42]

35.4 "Perhaps it is a body part" – The mobile phone as a cyborg technology

All these trends are only snapshots of an ongoing development that will lead to further deep changes in the use and impact of mobile technology. Important aspects not discussed here are for example the impacts of the camera phone: the integration of a camera into the mobile phone is leading to new forms of grass root journalism, legal and illegal documentation of events, political abuses and offences, industrial spionage etc. One crucial question that remains to be answered is to what extent the use of mobile phones will be restricted to private communication. In particular, further integration of mobile web technology is expected to profoundly transform the current usage patterns. If we look for future trends in mobile communication we should consider two further key features of mobile phones, their portability and the increasing convergence of different media into the device. Today, mobile phones are literally wearable devices, they are so small that they can be taken with you all the time. As constantly worn and automatically used devices they are losing their character as mere communication tools but are becoming more and more a part of the user's body.

In many languages, the adoption of the mobile phone as an organic part of everyday life is mirrored in the name they give to the mobile phone. One striking example is the Finnish word for mobile phones "känny" which is *"an affectionate term that signifies an extension of the hand."*[43] The close relationship with the mobile phone is particularly evident among teenagers. Numerous studies on the teenagers' mobile use in different countries show *"that after getting used to owning a mobile phone, it is very difficult for them to imagine living without one, and leaving the mobile phone at home creates a feeling of lacking some essential part of oneself."*[44]

The observation of the organic nature of people's relationship with the mobile phone has motivated the cognitive scientist Andy Clark to define it as a "cyborg technology": mobile phones can be considered as technological devices that offer *"integration and*

[41] Cf. Castells et al. 2007, pp. 185 ff.; Zuckerman 2007.
[42] Castells et al. 2007, p. 185.
[43] Oksman/Rautiainen 2003, p. 294.
[44] Oksman/Rautiainen 2003, p. 305.

transformation without implants or surgery: human-machine mergers that simply bypass, rather than penetrate, the old biological borders of skin and skull."[45] The automatic and constant use for different purposes turns the mobile phone into a type of "electronic prothesis", a kind of "mindware upgrade", capable of transforming and extending our reach, thoughts and actions.[46] This conclusion, which may appear to be exaggerated at first glance, might become more convincing when one imagines the consequences of the growing integration of WAP-technology into the mobile phone: In the very near future people will enter the web by their mobile phone wherever they are. The ability to access worldwide information, navigation systems, calculators, etc., whenever we want and wherever we are will transform our cognitive system and our cultural literacies profoundly. Our cultural knowledge management, our individual memory, our way of learning, perceiving the world and making decisions will all be transformed and restructured when we become used to accessing the web at any time and place. In this respect Osborne's prediction might be just the beginning of our fusion with mobile technology.

35.5 References

Brown, Barry 2001: Studying the Use of Mobile Technology. In: Brown/Green/Harper 2001, pp. 3–16.

Brown, Barry; Green, Nicola and Richard Harper (eds.) 2001: *Wireless World. Social and Interactional Aspects of the Mobile Age.* London, Berlin, Heidelberg: Springer.

Castells, Manuel; Fernández-Adrèvol, Mireia; Linchuan, Jack and Araby Sey Qui 2007: *Mobile Communication and Society. A Global Perspective.* Cambridge, Mass./London: MIT Press.

Clark, Andy 2003: *Natural-born Cyborgs. Technologies and the Future of Human Intelligence.* New York: Oxford University Press.

Conly, Robert Leslie 1954: New Miracles of the Telephone Age. In: *National Geographic Magazine*, July, pp. 87–120, here 87.

Farley, Tom 2007: The Cell-Phone Revolution. In: *Invention & Technology Magazine* **22**(3), pp. 1–9; `http://www.americanheritage.com/articles/magazine/it/2007/3/2007_3_8.shtml`.

Fortunati, Leopoldina 2001: The Mobile Phone: Towards New Categories and Social Relations. In: *Information, Communication & Society* **5**, pp. 513–528.

Fortunati, Leopoldina 2002: Italy: Stereotypes, True and False. In: Katz, James E. and Marc Aakhus (eds.): *Perpetual Contact. Mobile Communication, Private Talk, Public Performance.* Cambridge: Cambridge University Press, pp. 42–62.

Fortunati, Leopoldina 2005a: The Mobile Phone: Local and Global Dimensions. In: Nyíri 2005, pp. 61–70.

Fortunati, Leopoldina 2005b: Mobile Phone and the Presentation of Self. In: Ling/Pedersen 2005, pp. 203–218.

[45] Clark 2003, p. 24.
[46] Cf. Clark 2003, p. 10.

Gergen, Kenneth J. 2002: The challenge of absent presence. In: Katz/Aakhus 2002, pp. 227–241.

Geser, Hans 2004: *Towards a Sociological Theory of the Mobile Phone.* http://socio.ch/mobile/t-geser1.pdf.

Harper, Richard and Phil Gosset 2005: Die moralische Ordnung elektronischer Kurzmitteilungen. In: Höflich/Gebhardt 2005, pp. 199–222.

Höflich, Joachim R. and Julian Gebhardt (eds.) 2005: *Mobile Kommunikation. Perspektiven und Forschungsfelder.* Frankfurt am Main, Berlin, Bern: Lang.

Ito, Mizuko 2005: Mobile phones, Japanese youth, and the re-placement of social contact. In: Ling / Pedersen 2005, pp. 131–166.

Katz, James E. and Marc Aakhus (eds.) 2002: *Perpetual Contact. Mobile Communication, Private Talk, Public Performance.* Cambridge: Cambridge University Press.

Katz, James E. (ed.) 2003: *Machines that Become us. The Social Context of Personal Communication Technology.* New Brunswick, London: Transaction.

Licoppe, Christian 2003: Two Modes of Maintaining Interpersonal Relations Through Telephone: From the Domestic to the Mobile Phone. In: Katz 2003, pp. 171–185.

Ling, Rich 2004: The Mobile Connection. The Cell Phone's Impact on Society. Amsterdam, New York: Elsevier (Morgan Kaufman).

Ling, Rich and Per E. Pedersen (eds.) 2005: *Mobile Communications. Re-negotiation of the Social Sphere.* London: Springer.

Nyíri, Kristóf (ed.) 2005: *A Sense of Place. The Global and the Local in Mobile Communication.* Vienna: Passagen.

Oksman, Virpi and Pirjo Rautiainen 2003: "Perhaps It is a Body Part": How the Mobile Phone became an Organic Part of the Everyday Lives of Finnish Children and Teenagers. In: Katz 2003, pp. 293–308.

Revière, Carole 2005: Mobile camera phones: A new form of "being together" in daily interpersonal communication. In: Ling/Pedersen 2005, pp. 167–186.

Zuckerman, Ethan 2007: *Mobile Phones and Social Activism. Why cell phones may be the most important technical innovation of the decade*; http://www.techsoup.org/learningcenter/hardware/page7216.cfm.

Figure 35.5:
Hertz-Symposiums-Teilnehmer in der Hamburger Sternwarte
Foto: Gudrun Wolfschmidt

Programme – Heinrich Hertz and the Development of Communication

Gudrun Wolfschmidt (Hamburg)

Web Page of the Symposium:
`http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/events/hertz07.htm`

Scientific Committee

- Frau Prof. Dr. Monika Auweter-Kurtz, Präsidentin der Universität Hamburg
- Prof. Dr. Roger H. Stuewer, Institute of Technology, University of Minnesota, Minneapolis, USA
- Prof. Dr. Fabio Bevilacqua, Dipartimento di Fisica „A. Volta" Università degli Studi di Pavia, Pavia, Italy
- Prof. Dr. Jürgen Teichmann, Deutsches Museum, LMU München
- Prof. Dr. Claus Peter Ortlieb, Department Mathematik, Universität Hamburg
- Prof. Dr. Robert Klanner, Department Physik, Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg
- Prof. Dr. Hans-Joachim Braun, Universität der Bundeswehr Hamburg

Funding for the Hertz-Symposium was provided by

- Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
- Behörde für Wissenschaft und Forschung Hamburg

Monday, 8. October 2007

1. Heinrich Hertz and the Development of Communication – Festakt

14 h	Geburtshaus von Heinrich Hertz in der Poststraße 20, 20354 Hamburg Enthüllung einer Gedenktafel (Patriotische Gesellschaft von 1765) Grußwort: Peter Klein Einladung zum Kaffee
16 h	Department Physik, Wolfgang Pauli Lecture Hall, Jungiusstraße 9, 20355 Hamburg Festakt zur Eröffnung der Tagung Organisation: Schwerpunkt Geschichte der Naturwissenschaften
	Grußwort von Prof. Dr. Arno Frühwald, Dekan der MIN-Fakultät (Dean of the Faculty of Mathematics, Informatics and Natural Sciences)
	Grußwort von Jens Struckmeier, Departmentleiter Mathematik
	Grußwort von Robert Klanner, Departmentleiter Physik
	Peter Heering, Universität Oldenburg: Wie der Funke in die elektrische Forschung kommt – Elektrische Experimente im 18. Jahrhundert – Experimentalvortrag
	Chor des Elektronen-Synchrotrons Hamburg unter der Leitung von Axel Schaffran: *„Viele verachten die edele Physik“* – Klänge zwischen Elementarteilchen und Außenwelt
	Martin Wegener, Universität Karlsruhe, Institut für Angewandte Physik: Wenn Funken Wellen schlagen – Die Hertzschen Experimente Experimentalvortrag
	Schlußworte: Gudrun Wolfschmidt
19 h	Senatsempfang anläßlich 150 Jahre Heinrich Hertz im Rathaus, Bürgermeistersaal - Grußwort Staatsrat Roland Salchow, Behörde für Wissenschaft und Forschung (BWF) (State Secretary of the Ministry of Science and Research) - Grußwort Roger H. Stuewer, University of Minnesota, Minneapolis, USA Empfang – Reception

Tuesday, 9. October 2007, 9 h
Geomatikum, Bundesstr. 55, D-20146 Hamburg

2. Heinrich Hertz (1857–1894) – Philosophy of Science

Chairman: Roger H. Stuewer,
University of Minnesota, Minneapolis, USA

09.00	Gregor Schiemann, Universität Wuppertal: The Loss of World in the Image. Origin and Development of the Concept of Image in the Thought of Hermann von Helmholtz and Heinrich Hertz
09.30	Claus Peter Ortlieb, Universität Hamburg, Department Mathematik: Hertz' Beitrag zum Konzept des mathematischen Modells
10.00	Allan Janik, „Brenner-Archiv", Universität Innsbruck: How Did Heinrich Hertz Influence Wittgenstein?
10.30–11.00	Coffee break
11.00	John Preston, The University of Reading, England: Hertz, Wittgenstein, and the Instrumentalist Turn in the Philosophy of Science
11.30	Rudolf Seising, Medical University of Vienna: „Bilder", „Beulen", Bänder and structures: Heinrich Hertz, communication technology and philosophy
12.00	Giora Hon, Department of Philosophy, Haifa University, Israel and Bernard R. Goldstein, University of Pittsburgh, USA: Hertz's methodology and its influence on Einstein
12.30–14.00	Lunch Break

Tuesday, 9. October 2007, 14 h
Geomatikum, Lecture Room (Hörsaal) 2

3. Electromagnetism and Electrodynamics – Theory and Experiment

Chairman: Robert Klanner,
Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg

12.30– 14.00	Lunch Break
14.00 14.30	Olivier Darrigol, CNRS, Paris Hertz's stroke of genius of 1884: The principle of the unity of the electric force Karl Heinrich Wiederkehr, Hamburg, SPGN: Heinrich Hertz im Spannungsfeld von älterer Elektrodynamik und der Maxwellschen Theorie
15.00–	Coffee break

4. Heinrich Hertz – Principles of Mechanics

Chairman: Robert Klanner,
Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg

–15.30	Coffee break
15.30 16.00 16.30	Jesper Lützen, Universität Kopenhagen: Hertz and the Geometrization of Mechanics Alfred Nordmann, Institut für Philosophie, TU Darmstadt: Physics, Philology and Philosophy – A Tale of Hertz's Life-Long Struggles Peter Klein, Universität Hamburg, Didaktik der Mathematik und der Naturwissenschaften: Revision of Mechanics – Heinrich Hertz Preparing the Theories of Relativity
17.00	Possibility to visit the exhibition: „Physik mit Her(t)z" in the Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung in Hamburg, Felix-Dahn-Strasse 3, 20357 Hamburg (3rd floor) – in walking distance from the Geomatikum
19.00	Get together Party – Geomatikum

Wednesday, 10. October 2007, 9 h
Geomatikum, Lecture Room (Hörsaal) 2

5. The Discovery of Electromagnetic Waves – Heinrich Hertz's Experiments and Apparatus

Chairman: Jürgen Teichmann,
Deutsches Museum, München

09.00	Martin Henke, University of Hamburg: Berend Wilhelm Feddersen (1832–1918) und die Hertz-Kontroverse
09.30	Joachim Pelkowski (Ober-Mörlen) Hertz on Meteorology: A Lasting Contribution and a Remarkable Inaugural Lecture
10.00	Frank Dittmann, Deutsches Museum München: Heinrich Daniel Rühmkorff, Erfinder des Rühmkorffschen Funkeninduktors
10.30–11.00	Coffee break
11.00	Roland Wittje, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway / Regensburg und Wolfgang Engels, Universität Oldenburg: What Went on in the Laboratory? Replicating the Early Hertz Experiments (experimental lecture)
12.00 –14.00	Bus to Hamburg-Bergedorf Lunch Break

Wednesday, 10. October 2007, 15 h
Hamburger Sternwarte in Bergedorf, Gojenbergsweg 112, D-21029 Hamburg

6. From Radar Technology to the Application of Electromagnetic Waves in Astronomy

Chairman: Gudrun Wolfschmidt,
SPGN, Universität Hamburg

14.15	Welcome by Peter Hauschildt, Observatory, Department of Physics, University of Hamburg
14.30	Albrecht Sauer, Deutsches Schiffahrtsmuseum Bremerhaven: Zur Einführung elektromagnetischer Kommunikations- und Navigations-Verfahren in der deutschen Schifffahrt
15.00	Richard Strom, ASTRON, Radiosterrenwacht Dwingeloo & Sterrenkundig Instituut 'A. Pannekoek', University of Amsterdam: Ir A. H. de Voogt's pioneering role as radio amateur and astronomer
15.30	Gudrun Wolfschmidt, Hamburg, SPGN: Development of Radio Astronomy in Germany until 1970
16.00– 16.30	Coffee break
16.30	Norbert Junkes, MPI für Radioastronomie, Bonn: Radio Astronomy in Germany – Status and Future Developments – Entwicklung der Radioastronomie in Deutschland nach 1970
17.00	Zoltán Kolláth, Konkoly Observatory, Budapest, Hungary: Stellar music – detecting cosmic acoustic signals by electromagnetic waves (with Audio Examples)
17.30	Guided tour through Hamburg Observatory Reception
20.00	Back to the center of Hamburg by bus

Figure 35.6:
Hertz-Symposiums-Teilnehmer
in der Hamburger Sternwarte (Großer Refraktor)

Foto: Gudrun Wolfschmidt

Thursday, 11. October 2007, 9 h
Museum für Kommunikation,
Gorch-Fock-Wall 1, D-20354 Hamburg

7. The Birth of Radio – Wireless Telegraphy

Chairman: Fabio Bevilacqua,
Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Pavia

09.00	Die Karlsruher Experimente von Heinrich Hertz und die Rolle von Ferdinand Braun für die Entstehung der Radiotechnik in Theorie und Praxis in Deutschland und in Russland Vitaly G. Gorokhov, Institut für Philosophie der Russischen Akademie der Wissenschaften
09.30	Aleksandar Marinčič, Serbian Academy of Sciences and Arts, Belgrade, Zorica Civrič, Museum of Science and Technology, Belgrade Nikola Tesla's Contributions to Radio Developments
10.00	Richard Strom, ASTRON, Radiosterrenwacht Dwingeloo Sterrenkundig Instituut 'A. Pannekoek', University of Amsterdam Highlights of amateur radio in the Netherlands to 1926
10.30–11.00	Coffee break
11.00	Wolfgang König, Technische Universität Berlin, Institut für Philosophie, Wissenschaftstheorie, Wissenschafts- und Technikgeschichte: Wilhelm II. und die Funktechnik
11.30	Horst A. Wessel, Mannesmann-Archiv und Universität Düsseldorf: Telegraphie ohne Drähte – Technische Voraussetzungen und wirtschaftliche Bedeutung der frühen Funktelegraphie
12.00–14.00	Lunch Break

Thursday, 11. October 2007, 14 h
Museum für Kommunikation,
Gorch-Fock-Wall 1, D-20354 Hamburg

8. Heinrich Hertz (1857-1894) – Life and Impact

Chairman: Claus Peter Ortlieb,
Department Mathematik, Universität Hamburg

12.00– 14.00	Lunch Break
14.00 14.30 15.00	Stefan Wolff, Deutsches Museum München: Die Familie Hertz – ein jüdischer Name Frank Linhard, Universität Frankfurt: The Concept of 'Ether' in Hertz's Kiel Lecturesand its Meaning for the Concept of Space James G. O'Hara, Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – Niedersächsische Landesbibliothek Hannover: Hertz's dilemma of the different velocities of transmission of electromagnetic waves in air and along wires. Why did he get the results he got?
15.30–	Coffee break

9. Development of Communication Technology

–16.00	Coffee break
16.00– 18.00	Oliver Rump, Director of the Museum: Guided tour through the Museum of Communication Reception

Friday, 12. October 2007, 9 h
Museum für Kommunikation
Gorch-Fock-Wall 1, D-20354 Hamburg

10. Development of Communication Technology: From Tube to Digital Technology

Chairman: Hans-Joachim Braun,
Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg,
Professur für Neuere Sozial-, Wirtschafts-und Technikgeschichte

09.00	Hans-Joachim Braun, Universität der Bundeswehr Hamburg: Thereminvox: The Career of a Unique Electronic Musical Instrument (with Audio Examples)
10.00	Peter Donhauser, Technisches Museum Wien: Das Heinrich-Hertz-Institut und die Pionierzeit der „Elektrischen Musik" in Berlin
10.30– 11.00	Coffee break
11.00	Joachim Goerth, HAW Hamburg: Development of electronic tubes
11.30	Renate Tobies, TU Braunschweig: Mathematics – for improving the construction of valves
12.00	Erika Linz, Universität zu Köln / Aachen: Society on the move: The success story of the mobile phone
12.30	Roger H. Stuewer, University of Minnesota, USA: Closing remarks

14.00– 16.00	Guided tour at the Deutsches Elektronensynchrotron (DESY) Notkestraße 85, 22607 Hamburg

List of Figures

0.1 Portrait of Heinrich Hertz (1857–1894) in the Department of Physics . . 2
Cover in front: Hertz' discovery of electromagnetic waves 4
Portrait of Heinrich Hertz (1857–1894), Painting in the Department of Physics, Hamburg University 4
Cover back page: Advertisement of Telefunken (founded in 1903) 4
0.2 Experimental lecture by Peter Heering during the opening of the Hertz Symposium, October 2007 14
0.3 Words of welcome by Staatsrat Dr. Roland Salchow in Hamburg's City Hall during the Hertz Symposium, October 2007 16
0.4 Welcome address by the Dean Prof. Dr. Arno Frühwald, Dean of Faculty of Mathematics, Informatics and Natural Sciences, Hamburg University, during the Hertz Symposium, October 2007 21
0.5 Closing remarks of Roger H. Stuewer (Minneapolis, MN, USA) during the Hertz Symposium, October 2007, in the Museum for Communication Hamburg 22
0.6 Heinrich Hertz (1857–1894) 28
1.1 Hermann von Helmholtz (1821–1894) 30
2.1 Kant, Immanuel: *Kritik der reinen Vernunft.* Riga: Johann Friedrich Hartknoch 1781. 52
2.2 Zum Hertz'schen Modellbegriff 55
2.3 Der Modellierungsprozess 57
2.4 Nachbildung von Galileo Galileis Arbeitsraum im Deutschen Museum mit der Fallrinne im Zentrum 58
2.5 Galileis Beweis des ersten Fallgesetzes 59
2.6 Beobachtungsdaten und „Gesetzmäßigkeit", hier am Beispiel des mittleren Jahresgangs einer Phytoplanktondichte, Helgoland-Reede-Daten 1976–1991 69
3.1 Ludwig Wittgenstein (1889–1951) 72
4.1 Ludwig Wittgenstein (1889–1951) 80
4.2 Ludwig Wittgenstein (1889–1951) 85
5.1 Albert Einstein (1879–1955) 94
5.2 Heinrich Hertz: Ueber die Grundgleichungen der Elektrodynamik für ruhende Körper (1890). 98
6.1 Hertz' epistemological system in a two-layer structure, that of external objects and that of images or symbols of external objects. 106
6.2 Hertz' epistemological system in a two-layer structure with two sets of images for one set of objects. 111

6.3 Wittgenstein's epistemological in the *Philosophical Investigations* in a two-layer structure. . . . 115
6.4 Hertz' epistemological system in *The Constitution of Matter* in a three-layer structure with the highest level of abstract cores of our conceptions 117
6.5 Zadeh's illustration of fuzzy sets in $\mathbf{R}^1$: "The membership function of the union is comprised of curve segments 1 and 2; that of the intersection is comprised of segments 3 and 4 (heavy lines)" . . . 119
6.6 Crisp and fuzzy variable "age" . . . 120
6.7 The "stack hierarchy" of Zadeh's methodologies . . . 122
6.8 Illustration of perception-based system modeling in Zadeh's *AI Magazine* article. . . . 123
6.9 The structuralist view of science in a two-layer structure . . . 125
6.10 The fuzzy structuralist view of science in a three-layer structure: empirical, fuzzy, and theoretical layers of crisp and fuzzy structures, fuzzification between the empirical layer and the fuzzy layer, and defuzzification between the fuzzy layer and the theoretical layer. . . . 127
6.11 James Clerk Maxwell (1831–1879) . . . 132
6.12 Hertz' discovery of electromagnetic waves . . . 133
7.1 Christian August Hausen's frontispiece . . . 134
7.2 Demonstration of electricity . . . 137
7.3 Nollet's frontispiece . . . 138
7.4 Experimenting with the Leyden jar . . . 140
7.5 Battery of Leyden jars (left) and detail of switch (right) . . . 141
7.6 Discharging a Leyden jar collectively . . . 142
7.7 Discharge figures . . . 143
7.8 The electric cannon . . . 144
7.9 Electrical ignition of alcohol . . . 145
7.10 The Marly experiment . . . 147
7.11 Frontispiece of Beck 1787 showing the similarity between lightning and a discharge . . . 148
8.1 Büste von Heinrich Hertz (1857–1894), Hamburg 1982, modelliert von der Bildhauerin Frau Karin Hertz, einer Verwandten von Heinrich Hertz . . . 150
8.2 Hans Christian Ørsted (1777–1851) . . . 153
8.3 Wilhelm Eduard Weber (1804–1891), James Clerk Maxwell (1831–1879) . 154
8.4 Eduard Riecke (1845–1915) . . . 155
8.5 Paul Drude (1863–1906) . . . 157
9.1 Berend Wilhelm Feddersen (1832–1918) . . . 160
9.2 Feddersens Apparatur zum Nachweis der Existenz elektrischer Schwingungen mit Hilfe „oszillierender Entladungen" (1861) . . . 162
10.1 Nachbau eines Hertzschen Drahtgitter-Polarisators . . . 178
11.1 Heinrich Daniel Rühmkorff (1803–1877) . . . 180
11.2 Geissler tube in novels by Jules Verne . . . 183
11.3 Rühmkorff's induction coil . . . 184
11.4 Rühmkorff's induction coil . . . 185

11.5 Circuit of Rühmkorff's induction coil 186
11.6 Rühmkorff's birthplace, Hanover, Rote Reihe No. 3 (small house in the centre) 188
11.7 Letter heading of the Ateliers Rühmkorff 191
12.1 Replicating the Early Hertz Experiments 196
12.2 Heinrich Hertz and his colleagues 198
13.1 Heinrich Hertz (1857–1894): *Prinzipien der Mechanik* 200
14.1 As was the custom, Hertz's doctoral examination involved the defense of three theses. In the third, Hertz is prepared to defend that high school instruction should favor the humanities over the sciences. 210
15.1 Spezifika der Relativitätstheorien (Einstein zugesprochen) 232
15.2 Heinrich Hertz medaillon in Hamburg's city hall 250
16.1 Wappen der Familie Hertz 252
16.2 Stammbaum der Familie Hertz – links: jüdisch, rechts: christlich 256
16.3 Links: Die Mutter Anna Elisabeth Hertz, geb. Pfefferkorn (1835–1907) mit den drei Söhnen Heinrich Rudolph (1857–1894), Gustav Theodor (1858–1904) und Rudolf Johannes (1861–1933); nicht abgebildet sind Otto Hieronymus (1867–1884) und die Schwester Emma Melanie (1873–1966) – Rechts: Senator Gustav Ferdinand Hertz (1827–1914), der Vater von Heinrich Hertz (1827). 257
16.4 Der junge Heinrich Rudolph Hertz (1847–1894) in Uniform 259
16.5 Links: Heinrich Hertz-Büste im Ehrensaal des Deutschen Museums, gestaltet von Mathilde Hertz, 1916 – Rechts: Mathilde Hertz (1891–1975) . 263
16.6 Der junge Gustav Hertz (1887–1975), Neffe von Heinrich Hertz, Physiker (Nobelpreis 1925) 267
17.1 Gelehrtenschule des Johanneums in Hamburg 278
17.2 Die Eltern von Heinrich Hertz: Links: die Mutter Anna Elisabeth Hertz, geb. Pfefferkorn (1835–1910) Rechts: der Vater Dr. Gustav Ferdinand Hertz (1827–1914), Senator in Hamburg 279
17.3 Skulptur Ätherwelle im Eichenpark am Alsterufer, Künstler: Friedrich Wield (1880–1940), 1931/33 280
18.1 Gay-Lussac's observed temperatures over Paris (irregular curve), to which are fitted a linear (and an almost indistinguishable logarithmic) profile. . 282
18.2 Hertz's epochal diagram, as reproduced by Waldo (1893). 294
18.3 Cube diagram as rendered by the architect Hans Hottinger for the German version of the printed version of Hertz's lecture manuscript (H. G. Hertz and Mulligan, 1998). 304
18.4 Latest diagram of the energy budget of the Earth (Kiehl and Trenberth, 1997), the subject of Hertz's inaugural lecture in 1885. 306
19.1 Kiel on a contemporary postcard 310
19.2 Hertz's drawing of the dipole 323
19.3 A large number of oscillators in one row 324
19.4 Polarised sticks 325
19.5 An indefinitely extended uniform medium 326

20.1 Drawing of Hertz's apparatus for the observation of standing waves showing induction coil, dipole antenna, transmission line and rectangular and circular resonators used to observe loops and nodes along the line. 330
20.2 Sarasin's experimental arrangement 342
20.3 Sarasin in front of the elevated equipment holding a resonator 343
20.4 Marconi apparatus 346
21.1 Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im Raum 348
21.2 Vibrator und Resonator 352
21.3 Riess'sche Spiralen, Hertzsche Konstruktionen des Vibrators und Resonators 354
21.4 Sender- und Empfängerstation von Marconi 358
21.5 Sender und Empfänger von Marconi 359
21.6 Radioempfänger von Alexander Stepanowitsch Popow (1859–1905) 361
21.7 Induktiv angekoppelter Schwingkreis bei Brauns Sender 364
21.8 Originalskizze der Braunschen Röhre und Originalskizzen von H. Hertz . 366
21.9 Leonid Mandelstam (1879–1944) 370
21.10 Nikolaus Papalexi (1880–1947) 371
21.11 Ferdinand Braun (1850–1918), Nobelpreis 1909 374
22.1 Colorado Springs Laboratory 1899–1900 376
22.2 Left: Tesla's high frequency spark-gap generator; Middle: Long spark in the primary circuit Right: Short spark in the primary circuit 379
22.3 Various connections of generator to antenna-ground system from 1891–1892. 382
22.4 Tesla's system of four tuned circuits (pat. No. 11, 12 – 1897) and Marconi's system (British Patent 12.039, July 2, 1897). Application to all these patents are filed in 1897. 384
22.5 Four tuned circuits Tesla's radio system 385
22.6 Radio controlled boat 386
22.7 Patent of individualized control based on two transmitters and special receiver 388
22.8 Sketch of future antenna tower (May 29, 1901) 391
22.9 Long Island Plant 1902–1906. 392
23.1 Guglielmo Marconi and his message to the *NVVR* on its 10^{th} anniversary 396
23.2 Anthonet Hugo de Voogt (1892–1969) in 1925 401
23.3 Jan Corver (1878–1956), from a 1925 portrait 402
23.4 De Voogt's collapsible antenna, Amsterdam, 1909 404
23.5 Hanso Henricus Schotanus à Steringa Idzerda 406
24.1 Funkversuch Marconis 1897 am Bristol-Channel im Beisein Adolf Slabys . 408
25.1 Deutscher Überseedampfer „Cap Finisterre" mit Funkanlagen 420
25.2 Schematische Darstellung der ersten Funkapparaturen (1889–1897) 425
25.3 Guglielmo Marconi (1874–1934), Schaltungen der Marconi-Apparate (1897) und des Fritterempfängers (1898/99) 426
25.4 Schematische Darstellung der Slaby-Schalter (1900/02) und Slaby-Station der AEG (1901) 427
25.5 Mit gedämpften Wellen arbeitende Braun-Station von S & H (1900), Ferdinand Braun (1850–1918) 429

25.6 Antennen der ersten deutschen Funkanlagen Borkum Leuchtturm und Feuerschiff Borkum Riff 431
25.7 Funkstation eines Übersee-Dampfers (1911) 432
25.8 Werbung der DEBEG (1911) 434
25.9 Deutscher Überseedampfer „Kaiserin Auguste Victoria“ mit Funkanlagen 435
25.10„Ozean-Brief“ (1911) 437
25.11Reichweitenentwicklung der Station Nauen (1906–1918) 438
26.1 Communication Museum Hamburg 442
26.2 Würzburg Riese, German radar system used for radioastronomy after 1945 446
27.1 Der kleine Sender auf IMPERATOR mit „Tönenden Löschfunken, System Telefunken“ (1913). 448
27.2 Bordfunkstation auf KRONPRINZ WILHELM (NDL) (1903): Ein Knallfunkensender, System Marconi. 452
27.3 Bordfunkstation Telefunken (1907) 453
27.4 Funkräume der BREMEN (1911) 454
27.5 Empfänger des Löschfunkensystems auf ELEONORE WOERMANN (1911) 455
27.6 Beispiel eines der monatlich von der DEBEG herausgegebenen Funkverkehrspläne für die Transatlantikfahrt 456
27.7 Telefunken-Bordpeiler (1923) 457
27.8 Telemobiloskop von Christian Hülsmeyer (1904) 458
27.9 Werbeplakat für IMPERATOR: Deutlich zu sehen sind die Antennenanlagen 460
28.1 Ir A. H. de Voogt (right) and Prof. J. H. Oort, from the film by Kleibrink (1957), reenacting their walk along the North Sea dunes. 466
28.2 The first page of De Voogt's scrapbook, showing “Commendatore G. Marconi, L.L.D., D.Sc.” and the Marconi station at Chelmsford, Essex. . . . 471
28.3 The Board of the NVVR and the Exhibition Commission in March, 1918. De Voogt is the third standing from the left, wearing an army officer's uniform. 477
28.4 Visit of Queen Wilhelmina to the Radio Exhibition in The Hague on 19 March, 1918. 478
28.5 First successful demonstration of a normal telephone conversation by means of wireless in the Netherlands. A Telefunken installation was used to connect The Hague with Soesterberg in September, 1920. 480
28.6 A. H. de Voogt (left) in an animated discussion with fellow engineer F. O. Bloembergen, ca. 1947. 485
28.7 Antennas at Kootwijk in 1949 during a visit by members of *SRZM* and the working group Sun and Ionosphere. 487
28.8 A dipole array, one element of a meridian transit interferometer, used for solar observations at 255 MHz. 488
28.9 The “kuil” antenna at Kootwijk, a 30 m paraboloid sunk in the ground. The 10° tilt to the south (left) can be clearly seen. 489
29.1 “Würzburg-Riese” (7.5-m-reflector for RADAR), used for radio astronomy after the war in the Netherlands 502
29.2 German RADAR “Würzburg-Riese” 505

29.3 Parallactic mounted radio telescope (7.5 m), Kiel University 507
29.4 3-m-radio telescope Freiburg (1955), 2,6 GHz 508
29.5 Solar Radio spectrograph, Weissenau bei Ravensburg (1957), 48 to 165 MHz 509
29.6 36 m transit telescope, Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung in Berlin-Adlershof, 1957 – Tremsdorf near Potsdam: 10 m-radio telescope besides an antenna array, 4 antennas 100 m × 400 m 510
29.7 Friedrich E. Becker (1900–1985) in front of the Stockert radio telescope . 511
29.8 Construction of the Stockert telescope, 1952–56 512
29.9 Radio telescope Effelsberg, Krupp Industrietechnik, Duisburg und MAN, Wave range 74 cm–0.4 cm, Reflector diameter 100 m, Surface accuracy 0.34 mm, Total weight 3,200 tons 514
30.1 The tunes of the planets from Kepler's *Harmonices Mundi Libri V* 516
30.2 The frequency versus size of different objects. The pitch is displayed in logarithmic scale in octaves compared to organ pipes (A). B: Earthquakes; C: White dwarf pulsation, D: Solar oscillations; E: classical pulsating stars. 520
30.3 A trumpet shaped based on the structure of a Cepheid – a concept to create a virtual orchestra of billions of stars. 521
30.4 The "musical" interval between the consecutive overtones of a Cepheid model sequence. The horizontal lines at the right side of the plot represent the same ratios of the overtones of an organ pipe, e. g. the integer ratios. The top curves display the interval between the lower overtones. 522
30.5 Graphical representation of stellar sounds. From top left to bottom right: RR Lyrae model; typical Blazhko RR Lyrae; HR 1217; Double mode RR Lyrae model; AC Andromedae; R Scuti; Θ Tucanae; Solar oscillations. . . 525
30.6 The exhibition in the nave of Museum Kiscell. The room of the church with a frame from the astronomical animation (graphical representation of R Scuti's sound), and tow pieces of art by Magda Csutak. 527
30.7 Electronic tube, Siemens 528
31.1 Thereminvox von Leon Theremin (1896–1993) 530
31.2 Leon Theremin (1896–1993) und Thereminvox (Elektronik sichtbar) . . . 533
32.1 Impressionen aus dem Heinrich-Hertz-Institut: links der schalltote Raum, rechts oben das Institutsgebäude, rechts unten Prof. Leithäuser bei Fernsehversuchen. 538
32.2 Oskar Vierling (1904–1986) am Elektrochord 546
32.3 Die Schaltung des „Lichtbogeninstruments" 549
32.4 Die Bühne mit dem „elektrischen Orchester". Von links nach rechts: Elektrisches Cello (Dr. Reinhold), elektrische Geige (Frau Sujovolsky), Elektrochord (Frl. Wolfsthal), Theremin-Vorsatz (Martin Taubmann), Theremin (Tscharikoff), Prof. Leithäuser am Mikrofon, Trautonium (Oskar Sala), Hellertion (Bruno Helberger), Neo-Bechstein (Max Nahrath) . . . 551
32.5 Die Bühne im Ingeniørenes Hus, Oslo, mit dem Theremin, dem Trautonium und einem Neo-Bechstein (links im Bild). 552

32.6 Die Bühne mit Elektrischen Instrumenten bei der Funkausstellung 1933. Links Oskar Sala am Trautonium, in der Mitte Oskar Vierling am Elektrochord, rechts Erich Zitzmann-Zirini am Theremin. 555
32.7 Mitarbeiter des HHI beim Zusammenbau der „Großtonorgel“ 556
32.8 Winston E. Kock und Oskar Vierling vor dem ersten Modell ihrer Glimmlampen-Orgel. Sie konnte aus Zeitgründen nicht auf der Funkausstellung 1934 gezeigt werden, sondern nur im kleinen Kreis am HHI. 558
32.9 Propagandaminister Goebbels „probiert“ die Großtonorgel anlässlich der Eröffnung der Funkausstellung 559
33.1 Sketch of an electron tube (“radio” – or amplifying tube) 562
33.2 “Geissler”- tubes for demonstration and entertainment 564
33.3 Röntgen tubes: a) sketch of Röntgen’s original tube b) industrial product about 1905 565
33.4 Rectifying tubes: a) Mercury rectifier by Hewitt 1902 b) Hot cathode rectifier by Wehnelt 1904 c) Detector by Fleming 1904 566
33.5 a) Braun’s tube 1896 b) oscillogram of a sine voltage taken by Zenneck in 1899 566
33.6 Telephone “relay” by von Lieben b) Amplifying set using this tube industrial product about 1912 567
33.7 a) “Audion” tube by de Forest b) receiver using this tube 568
33.8 Amplifying tubes 1918 – a) VT 1, USA b) R, France c) R.E. 11, Germany 568
33.9 Tubes with getter and thoriated filament. From left: „Radioröhrenfabrik”, later “Valvo”, (Germany), Radiofotos (France), Radio Corporation of America (USA) 569
33.10Two tubes with barium oxide coated filament (left) and indirectly heated tube 570
33.11Selected tubes with colour markings 571
33.12Specialized tubes: power tube (left) and screen-grid-tube (right) 572
33.13Set of tubes for hetererodyne receiver in 1935. From the left: Mixing-, remote cutoff amplifying-, demodulator- plus audio-amplifier-tube, “magic eye”, power tube, mains rectifier tube. 573
33.14Tubes developed up to 1940. From the left: catkin tube (UK), metal tube (USA), “steel”-tube (Germany), “red” tube and “lock-in” tube (Netherland) 574
33.15Set of tubes for a standard radio receiver about 1955 575
34.1 Iris Runge (1888–1966) and co-workers, research laboratory of Osram, Factory A, in Berlin, Sickingenstraße 576
34.2 Partial list of former employees of Telefunken-Röhrenwerk including statement of present address and former position. 579
34.3 Serial Production of Telefunken Radio Valves, Osram Factory A, Berlin Sickingenstraße 581
34.4 The last page of the paper (Runge 1936, p. 138) in which she developed a new formula and a graphical table to obtain a probability of 90% for a given totality by using a small control sample. 587

34.5 Graphical tables developed by Iris Runge in order to design valves with a given penetration coefficient 591
34.6 Table with formulas for the penetration coefficient D_∞ for cylindrical disposition of electrodes, systematized and developed by Iris Runge . . . 593
35.1 Osborne's Handy 600
35.2 Mobile subscribers penetration in EU 603
35.3 Early portable unit made by Spectrum Cellular Corporation 605
35.4 The first cell phone presented by it's inventor Martin Cooper in 1973 . . 606
35.5 Hertz-Symposiums-Teilnehmer in der Hamburger Sternwarte 616
35.6 Hertz-Symposiums-Teilnehmer in der Hamburger Sternwarte (Großer Refraktor) 623
35.7 Hertz-Symposiums-Teilnehmer im Museum für Kommunikation 634
36.1 The large oszillator of Heinrich Hertz 658

Figure 35.7:
Hertz-Symposiums-Teilnehmer im Museum für Kommunikation
Foto: Gudrun Wolfschmidt

Authors

Prof. Dr. Fabio Bevilacqua (Pavia)

Dipartimento di Fisica "A. Volta"
Università degli Studi di Pavia
Via A. Bassi, 6
I-27100 Pavia, Italy
e-mail: bevilacqua@fisicavolta.unipv.it

Prof. Dr. Hans-Joachim Braun (Hamburg)

born 1943, Professor of Modern Social-, Economic and Technological History at the Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg since 1982. In the late 1970s and early 1980s he spent some time researching and teaching at Stanford University and at the Massachusetts Institute of Technology.
His main fields of research are technological innovations, technology transfer, failed innovations, the relationship between technology and music in the 20th century and a comparison between creativity in technology and the arts with special reference to processes of engineering design and processes of musical composition.
He is editor of *Studien zur Technik-, Wirtschafts- und Sozialgeschichte*; member of the editorial board of *ICON. Journal of the International Committee for the History of Technology* (ICOHTEC) and of *History of Technology*; member of the *Académie Internationale d'Histoire des Sciences*; President of the *International Committee for the History of Technology* (ICOHTEC); chairman of the scientific committee of the *Georg-Agricola-Gesellschaft zur Förderung der Geschichte der Naturwissenschaften und Technik* and chairman of the *Hans-Schimank-Gedächtnis Stiftung.*

Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg
Professur für Neuere Sozial-, Wirtschafts-und Technikgeschichte
D-22039 Hamburg
e-mail: hjbraun@hsu-hh.de

Dr. Zorica Civrič (Belgrad)

BSc (Electrical Engineering), having graduated from the Faculty of Electrical Engineering of the University of Belgrade in 1988.
Employed with the Nikola Tesla Museum from November 1988 to January 2007. Employed

with the Museum of Science and Technology from February 2007.
Membership in professional associations: Member of the Executive Board of the National Committee of ICOM Serbia from 2002.
Publications: *Nikola Tesla Museum 1952–2003* (Belgrade: Nikola Tesla Museum, in Serbian and English); (with Kalderon Jelena): *Nikola Tesla Archive*, published in Unesco in Serbia, Pravoslavna rec, 2007, 196–222, in Serbian and English); (with Stojiljkovic Bratislav, Civric Zorica: *Nikola Tesla in Belgrade in 1892* (Belgrade: Nikola Tesla Museum, 2002, Serbian); *The Orders from the Nikola Tesla Legacy* (Belgrade: Nikola Tesla Museum, 2001, in Serbian and English); (with Smiljanic Dubravka): *Nikola Tesla – Correspondence with Relatives* (Belgrade: Nikola Tesla Museum, 1993, in Serbian);

Museum of Science and Technology
Department of Electrical Engineering
Skendergebova 51
RS-11000 Belgrade, Serbia
e-mail: zorica.civric@muzejnt.org.yu

Prof. Dr. Olivier Darrigol (Paris)

CNRS
Rehseis
83 rue Broca
F-75013 Paris, France
e-mail: darrigol@paris7.jussieu.fr

Dr. Frank Dittmann (München)

Education:
1993 doctoral degree – Ph. D. (Dr. phil.) in history of technology, Technische Universität Dresden, Germany; 1987 academic degree Diplomingenieur (Dipl.-Ing.) in electrical engineering, Technische Universität Dresden.
Employment:
since 2005 curator, Deutsches Museum, Munich; 1999–2005 curator, Heinz Nixdorf MuseumsForum, Paderborn (museum on computer and communication technology); 1996–1999 curator, Stadtmuseum Berlin (museum of the city Berlin); 1994–1995 Walter-Rathenau fellow, Verbund für Wissenschaftsgeschichte, Berlin; 1992–1993 curator, Technische Universität Dresden; 1989–1992 fellow on a postgraduate course, Technische Universität Dresden; 1987–1989 engineer for automation and computer technology, Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstofforschung Dresden (central institute of solid-state physics and material research).
Research Interests:
- history of electrical engineering
- cybernetics in Germany
- history of artificial intelligence and robotics

- development of microelectronics
- development of public transit systems.

Deutsches Museum
D-80306 München
e-mail: f.dittmann@deutsches-museum.de

Mag. Peter Donhauser (Wien)

Geboren am 6. Dezember 1948 in Wien. Studium an der Universität Wien (Mathematik, Physik und Chemie).
1972 bis 1991 Unterrichtstätigkeit an einem Gymnasium. Entwicklung computergesteuerter Naturwissenschaftsexperimente zusammen mit einer Lehrmittelfirma. Dozent an mehreren pädagogischen Akademieen. 1989 bis 1992 Aufbau einer interaktiven Physikabteilung im Technischen Museum Wien. Ab 1992 Sammlungsleiter für die Bereiche Physik, Musiktechnik, Medizintechnik, Datenverarbeitung, Drucktechnik, Post- und Fernmeldewesen, Rundfunk und Fernsehen, Fotografie und Film. Ab 1993 stellvertretender Direktor des Museums, Vorbereitung der Generalsanierung. 1997 bis 1999 Museumsdirektor, Wiedereinrichtung der Schausammlungen und Eröffnung 1999. Projektumfang: 250 Mio S. Nach der Ausgliederung des Museums ab 2000 Leiter der Wissenschaftlichen Abteilung. Sammlungsleiter für Physik, Musikinstrumente, Medizintechnik, Messtechnik, Biotechnologie, mathematische Instrumente. 2002 bis 2004 Wissenschaftliche Leitung eines Forschungsprojekts „Popularisierung der Elektrischen Musik im Berlin der 1930er Jahre“.
Buch-Publikationen: Donhauser (Hrsg): Restaurieren, Renovieren, Rekonstruieren (Wien 1997); „in aller munde“ Ausstellungskatalog (Wien 2003); Der Mittelwellensender Dobl (Eigenverlag Gemeinde Dobl 2002); Das Orchester der Zukunft? Die Pionierzeit der elektrischen Instrumente im deutschsprachigen Bereich (Wien 2007).

Technisches Museum Wien
Mariahilfer Straße 212
A-1140 Wien, Austria
e-mail: peter.donhauser@tmw.at

Dr. Wolfgang Engels (Oldenburg)

Institute of Physics/ Carl von Ossietzky University
Physics Education & History and Philosophy of Science
PO Box 2503
D-26111 Oldenburg, Germany
e-mail: wolfgang.engels@uni-oldenburg.de

Dekan Prof. Dr. Arno Frühwald (Hamburg)

Dekanat der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften
Universität Hamburg
Bundesstr. 55
D-20146 Hamburg
e-mail: dekanat.min@uni-hamburg.de

Prof. Dipl.-Ing. Joachim Goerth (Hamburg)

was born in Hamburg in 1944. He studied electrical communications at the university of Hanover and started work with Valvo, a subsidiary of Philips, in 1970, where he was engaged in the development of integrated circuits. When in 1974 the receiving tube manufacturing facilities at Valvo were dismantled, he began to be interested in and to collect tubes. Since 1980 he is professor at the „Hochschule für angewandte Wissenschaften" (HAW) in Hamburg and mostly concerned with semiconductor devices and circuits.
Among his publications are books titled *Einführung in die Nachrichtentechnik* and *Bauelemente und Grundschaltungen*. Since about 1995 he is holding lessons on the history of electricity with emphasis on electron tubes and published a paper „Proliferation of Tube Types"' in 2004. He has three children and is living in Lüneburg. He is a member of the „International Electronics History Group"' (IEHG) and „Gesellschaft der Freunde der Geschichte der Funktechnik"' (GFGF).

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg (HAW)
Department for Electrical and Information Engineering
Berliner Tor 5
D-20099 Hamburg
e-mail: goerth@etech.haw-hamburg.de

Prof. Dr. Bernard R. Goldstein (Pittsburgh)

Bernard R. Goldstein is University Professor Emeritus at the University of Pittsburgh (USA). He has written extensively on the history of astronomy in ancient, medieval, and early modern times, and full text of 28 of his papers published between 1985 and 2005 is now available at http://www.pitt.edu/ brg/.
Among his publications are "Kepler's Move from Orbs to Orbits: Documenting a Revolutionary Scientific Concept." In: *Perspectives on Science* **13** (2005), 74–111 [with Giora Hon]; and *The Alfonsine Tables of Toledo* (2003, Dordrecht: Kluwer) [with José Chabás].

2 School of Arts and Sciences
University of Pittsburgh, USA
e-mail: brg@pitt.edu

Prof. Dr. phil. habil. Vitaly G. Gorokhov (Moscow, Russia – Karlsruhe)

Education:
1961–1965 electronic engineering at the Moscow Radio/Mechanical Technical School, 1966–1971 philosophy at the Moscow Lomonossow University, 1971–1974 philosophy of science and systems theory at the Institute for the History of Science and Technology of the Soviet Academy of Sciences (post graduate study), 1975 doctorate ("Methodology of Systems Engineering"), 1986 habilitation ("Methodological Analysis of the Development of the Theoretical Knowledge in the Modern Engineering Sciences")
Carrier/Employment:
1971–1977 Research Institute for Radiocommunication and Control, chief of department for the Methodology of Systems Engineering, 1977–1989 member of the editorial staff of Voprossi filisofii ("The Problems of Philosophy" – the leading philosophical journal in the USSR), headed a department for analysis of philosophical and social problems associated with science and technology, 1978–1989 reader and from 1985 professor of the philosophy of science and technology at the Moscow Mining Institute (Technological University), from 1988 Institute of Philosophy of the Russian Academy of Sciences, a Philosophy of Technology Research Group, senior scientific fellow of the department for Interdisciplinary Problems of the Scientific and Technological Development from 1995 scientific coordinator of the German-Russian College and from 1999 – scientific coordinator of the International Academy for Sustainable Development and Technologies of the University of Karlsruhe (Germany), from 1995 chair of the Chair of the Philosophy of Science and Technology in School for Philosophy of the State University for Humanity in Moscow, from 2001/2002 visiting professor at the economical faculty of the University of Bremen, from 2005 professor of the Moscow State Lomonosov University and Moscow Bauman State Technological University, from 2006 director of the International Research Center for Social Consequences of Scientific and Technological Development and Innovation (Moscow State University), from 2006 visiting scientist in the Institute for Technology Assessment and Systems Analysis of the Forschungszentrum Karlsruhe (Germany).
Specialization:
philosophy of science, technology and environment, global problem of the sustainable development, methodology of systems engineering and project management, history of science and technology from the philosophical point of view.
Recent selected publications more than 200 articles and books in Russian, German and English: Metodologicheskii analiz sistemotekhniki [Methodological analysis of systems engineering]. Moscow 1982, 160 p. (Russian); Metodologicheskii analis nauchno-technicheskich distziplin [Methodological analysis of scientific technological disciplines]. Moscow 1984, 112 p. (Russian); (together with V. S. Stepin and M. A. Rosov) Filosofija nauki i tekhniki. [Philosophy of science and technology] Moscow 1995, 388 p.; 2nd ed.: Moscow 1996, 400 p. (Russian); Peter Klimentjevich Engelmeyer: Mechanical Engineer and Philosopher of Technology. 1855–1941. Moscow 1997, 223 p. (Russian); Konzepzii sowremennogo esteswosnanija i techniki. [Conceptions of the Modern Natural Science and Technology]. Moscow 2000, 608 p. (Russian); Konzepzii sowremennogo esteswosnanija. [Conceptions of the Modern Natural Science]. Moscow 2003, 412 p. (Russian); Osnovy filosofii tekhniki i tekhnicheskikh nauk [Foundation of the Philosophy of Technology and Technological Sciences]. Moscow 2007, 335 p. (Russian); Engineering: Art and Science. Moscow 1990, 248 p. (English); Technikphilosophie und Technikfolgenforschung

in Russland. Europäische Akademie zur Erforschung von Folgen wissenschaftlich-technischer Entwicklungen Bad Neuenahr-Ahrweiler GmbH, Graue Reihe, Nr. 26, Februar 2001 (German); Jahrbuch des Deutsch-Russisches Kollegs 1999–2000. Hrsg. von V. Gorokhov. Moscow 2000 (German/English & Russisch); Jahrbuch des Deutsch-Russisches Kollegs 2001–2002. Hrsg. von V. Gorokhov. Aachen 2003 (German/Englisch & Russisch); Deutsch-Russisches Kolleg, Jahrbuch 2004/2005. Hrsg. von V. Gorokhov. Aachen 2006 (German/Englisch & Russisch).

Institute for Philosophy of the Russian Academy of Sciences
Volkhonka 14, 119842 Moscow, Russia
Forschungszentrum Karlsruhe GmbH,
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse
Postfach 3640, D-76021 Karlsruhe, Germany
Web page: `http://www.itas.fzk.de/mahp/gorokhov/gorokhov.htm`
e-mail: `vitaly.gorokhov@mail.ru`, `vitaly.gorokhov@itas.fzk.de`

PD Dr. Peter Heering (Oldenburg)

Peter Heering is senior lecturer at the physics department of the Carl-von-Ossietzky University in Oldenburg (Germany). He studied physics and chemistry to become a secondary school teacher. Following his studies he did a PhD in the field of history of physics and its didactical use which he completed in 1995 (*Das Grundgesetz der Elektrostatik. Experimentelle Replikation, wissenschaftshistorische Analyse und didaktische Konsequenzen*). After being trained two years at a secondary school in Wilhelmshaven he returned to university where he is now involved in teacher training. In 2004, he was Scholar in Residence at the *Deutsches Museum Munich*; from April 2006 until March 2007, he was professorial substitute of the chair for physics didactics at the university Augsburg. In 2006, he finished his habilitation in history of science at the university Hamburg (*Experimentierstile in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts*).
His actual research is on the development of experimental practice in physics from the eighteenth to the twentieth century and on the educational use of historical experiments.
Among his recent publications are *Constructing Scientific Understanding through Contextual Teaching* (Berlin: Frank & Timme, in press, co-edited with D. Osewold); *Regular Twists: Replicating Coulomb's Wire-Torsion Experiments* In: *Physics in Perspective* **8** (2006), 52–63, *To see or not to see: Jean Paul Marats öffentliche Experimente und ihre Analyse mit der Replikationsmethode* In: *NTM* **13/1** (2005), 17–32 and *The enlightened microscope: re-enactment and analysis of projections with eighteenth-century solar microscopes* In: *British Journal for the History of Science*, forthcoming.

Arbeitsgruppe Didaktik und Geschichte der Physik, Institut für Physik
Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg
D-26111 Oldenburg
e-mail: `peter.heering@uni-oldenburg.de`

Dr. Martin Henke (Hamburg)

born 1962 in Lübeck, Germany. Abitur in 1982 in Lübeck. Studied Electrical Engineering at the Technical University of Braunschweig. Diploma degree (Dipl. ing.) in 1989. Started working in the electronics industry in different positions in electronic engineering and project management. From 1994 to 1999 working at the "Institut für Geschichte der Naturwissenschaften" at the University of Hamburg on a biography of Berend Wilhelm Feddersen. Finalized his thesis in 1999 with the "Dr. rer. nat." degree. The dissertation has been awarded in 2000 by the Joachim-Jungius Gesellschaft, Hamburg.
Since 1999 holding several positions as product and marketing manager at electronic industry leaders.

(University of Hamburg)
Private address: Frühlingstrasse 34
D-22525 Hamburg, Germany
e-mail: henke_m@gmx.de

Prof. Dr. Giora Hon (Haifa, Israel)

Giora Hon teaches History and Philosophy of Science at the University of Haifa, Israel. He has published widely on the theme of error in science, both from historical and philosophical points of view. His book, together with Bernard R. Goldstein, *From Summetria to Symmetry: The Making of a Revolutionary Scientific Concept*, is forthcoming in the Archimedes Series (Springer).

University of Haifa
Department of Philosophy, Mt. Carmel
31905 Haifa, Israel
e-mail: hon@research.haifa.ac.il

Univ.-Prof. Dr. Allan Janik (Innsbruck, Austria)

Allan Janik was born on September 18th 1941 in Chicopee, Massachusetts/USA. He received his A. B. in philosophy from St Anselm College, his M. A. in philosophy from Villanova and his PhD in History of Ideas from Brandeis. Until his retirement in 2006 he was Research Fellow at the University of Innsbruck's Brenner Archives Reseach Institute. He is Adjunct Professor for the Philosophy of Culture at the University of Vienna and in the Skill and Technology PhD. program at Stockholm's Royal Institute of Technology. He is a member of the Centre Georges Canguilhem (Paris VII–Denis Diderot) and conseiller scientifique of the Fondation pour l'innivation politique in Paris.
His books include *Assembling Reminders: Studies in the Genesis of Wittgenstein's Conception of Philosophy* (2006), *Theater and Knowledge* (2005), *The Use and Abuse of Metaphor* (2003), *The Concept of Knowledge in Practical Philosophy* (in Swedish) (1996), *Style, Politics and the Future of Philosophy* (1989), *Wittgenstein's Vienna* (with Stephen Toulmin) (1973, 1996), *Wittgenstein's Vienna Revisited* (2000), *The Empty Sleeve* (co.ed.) (2006) and several others.

Forschungsinstitut "Brenner-Archiv"
Universität Innsbruck
Josef-Hirn-Strasse 5
A-6020 Innsbruck, Austria
http://www.uibk.ac.at/brenner-archiv/mitarbeiter/janik/index.html
e-mail: Allan.Janik@uibk.ac.at

Dr. Norbert Junkes (Bonn)

MPI für Radioastronomie, Bonn
Auf dem Hügel 69
D-53121 Bonn, Germany
e-mail: njunkes@mpifr-bonn.mpg.de

Prof. Dr. Robert Klanner (Hamburg)

Universität Hamburg
Department Physik
Luruper Chaussee 149
D-22761 Hamburg, Germany
e-mail: Robert.Klanner@desy.de

Prof. em. Dr. Peter Klein (Hamburg)

geboren 1940 in Breslau; röm.-katholisch, verheiratet, ein Sohn; Jugend und Schulbesuch in Bodenwerder/Weserbergland, Düsseldorf und Köln, Abitur 1959; Studium: Physik, Mathematik, Chemie, Philosophie, Pädagogik, Kunstgeschichte an der Universität Köln; 1. und 2. Staatsexamen; Diplom Physik 1967 (Kristallbaufehler in Halbleitern); Dr. phil. 1975 (Biologische Anthropologie als Grundlage naturwissenschaftlicher Bildungsziele);
1968–1974 Wissenschaftlicher Assistent an Pädagogischen Hochschulen (Neuß/Mathematik, Dortmund/Physik); 1974–1976 Lehrer an Gymnasien in Köln; seit 1976 Professor für „Erziehungswissenschaft / Schwerpunkt Didaktik der Physik"', Universität Hamburg.
Arbeitsgebiete: Didaktik der Naturwissenschaften; (naturwissenschaftliche und historische) Anthropologie und Bildungsphilosophie, insbesondere des Neuhumanismus; Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte; Interdisziplinäre Wissenschaft (Mitgründer/Hon. Member „International Society for Interdisciplinary Study of Symmetry"' – ISIS-Symmetry)

Babendiekstr. 13
D-22587 Hamburg
Tel. 040–862266
e-mail: Klein@erzwiss.uni-hamburg.de

Prof. Dr. Wolfgang König (Berlin)

studied history, geography, sociology, and political science, and was subsequently secretary for the history of technology and technology assessment in the *Verein Deutscher Ingenieure* (VDI) before becoming full professor of the history of technology at the Technical University of Berlin in 1985. He earned distinctions at the *Verein Deutscher Ingenieure* and the *Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik* (VDE) for his contributions on the history of technology and electrical engineering and on technology assessment. From 2000 until 2006, he was president of the *Gesellschaft für Technikgeschichte* (GTG).
His interests include the history of education, the engineering profession, and mechanical and electrical engineering, the historiography of technology, technology assessment, and the philosophy of technology. He is currently working on technology in consumer society, the early history of electrical engineering as an adacemic discipline, the history of machine design, and of high flood control. He taught as visiting professor at the Institute of Technology and Society at the University of Technology in Vienna and at the Chinese Academy of Sciences in Beijing, and that at the Institute for the History of Science and Technology and the Institute of Policy and Management.

Technische Universität Berlin
Institut für Philosophie
Wissenschaftstheorie, Wissenschafts- und Technikgeschichte
Straße des 17. Juni 135
D-10623 Berlin, Germany
e-mail: `wolfgang.koenig@tu-berlin.de`

Dr. Zoltán Kolláth (Budapest, Hungary)

Konkoly Observatory
of the Hungarian Academy of Sciences
P.O. Box 67
H-1525 Budapest, Hungary
e-mail: `kollath@konkoly.hu`

PD Dr. Frank Linhard (Frankfurt am Main)

studied Physics, Mathematics and History of Science in Frankfurt am Main and Cambridge, UK. He holds a diploma in Theoretical Physics, a PhD in History of Science and is a 'Privatdozent' for History of Science at the *Department of Physics* at Frankfurt University. After his studies in Frankfurt he worked as a Feodor Lynen Research Fellow of the Alexander von Humboldt Foundation at the *Department of History and Philosophy of Science* of the *University of Cambridge*, where he did research on the theoretical physics of Heinrich Hertz and on Newton's concept of space.
At the *Centre for Research in Early Modern History, Culture and Science* of Frankfurt University he worked on Newtonian and Leibnizean space. Currently he is a lecturer at the *Department*

of Physics at Frankfurt University.
Books: *Historische Elemente einer Prinzipienphysik* (Hildesheim: Olms 2000), *Klassische Mechanik* (Frankfurt am Main: 2002), *Notion's of Space and Time – Early Modern Concepts and Fundamental Theories* Zeitsprünge, Band 11, Heft 1/2 (2007), ed. with P. Eisenhardt (Frankfurt am Main: Klostermann 2007), *Newtons 'spirits' und der Leibnizsche Raum* (Newton's 'spirits' and Leibnizean Space) (Hildesheim: Olms 2008) (to appear).

Johann Wolfgang Goethe-University
Institute for the History of Science / Department of Physics
Robert-Mayer-Str. 1
D-60054 Frankfurt am Main, Germany
`http://www.linhard.com/home/cvhtm.html`
e-mail: `F.Linhard@em.uni-frankfurt.de`

Dr. Erika Linz (Köln)

studied Linguistics, German Literature, Mathematics and Neurolinguistics at the RWTH Aachen University. From 1990 to 1998 she worked as a research assistant and lecturer at the department of German Language and Literature at the RWTH Aachen. In 1999 she completed her doctorate thesis on cognitive linguistics and neuropsychological theories of knowledge representation which was awarded the Friedrich-Wilhelm-Prize at the RWTH Aachen. From 1999 to 2005 she was a research fellow at the Collaborative Research Center SFB/FK 427 "Media and Cultural Communication" at the University of Cologne. Currently she is the research coordinator (Wissenschaftliche Geschäftsführerin) of the SFB/FK 427 and lectures for the international Master Programme in Media Informatics at the Bonn-Aachen International Center for Information Technology.
Her research focuses on language and cognition, semiotics, media theory and the social and linguistic impacts of digital media and mobile communication.
Books: *Indiskrete Semantik. Kognitive Linguistik und neurowissenschaftliche Theoriebildung* (München 2002); *Medien/Stimmen* (ed. with C. Epping-Jäger; Köln 2003); *Medialität und Mentalität. Theoretische und empirische Studien zum Verhältnis von Sprache, Subjektivität und Kognition* (ed. with L. Jäger; München 2004); *Spuren Lektüren. Praktiken des Symbolischen* (ed. with G. Fehrmann, C. Epping-Jäger; München 2005).

Lehrstuhl für Informatik V– RWTH Aachen
und Kulturwissenschaftliches Forschungskolleg
"Medien und kulturelle Kommunikation"
(SFB/FK 427) – Universität zu Köln
Bernhard-Feilchenfeld-Str. 11
D-50969 Köln, Germany
e-mail: `e.linz@uni-koeln.de`

Prof. Dr. Jesper Lützen (Copenhagen, Denmark)

Institute for Mathematical Sciences
Universitetsparken 5
DK-2100 Copenhagen, Denmark
e-mail: lutzen@math.ku.dk

Prof. Dr. Aleksandar Marinčič (Belgrad)

Educated in Belgrade, where in 1956 and 1956 obtained Dipl.ing. and P.G.D from the Faculty of Electrical Engineering, Belgrade University. In 1963 he obtained Ph.D.degree at the Sheffield University, England. Elected as assistant professor (1965–1969) at the Faculty of Electrical Engineering, Belgrade University. Between 1967–1971 was UNESCO expert, visiting associate professor and Acting Chief Technical Adviser at the Middle East Technical University in Ankara, Turkey. From 1971 associate professor at the Electronics Faculty of Nis, where he was a vice-dean and the Chief of Telecommunication Department. Elected associate professor at the Faculty of Electrical Engineering, Belgrade University in 1974 and full professor in 1980. He was Chief of Department of electronics, automatics and telecommunications and Telecommunications Cathedra chief. Elected corresponding member of the Serbian Academy of Sciences and Arts in April 1991 and full member in April 2000. Elected full member of Yugoslav Engineering Academy from its formation. Lectured Measurements in telecommunications (1963–1967), then Fundamentals of telecommunications, Data transmission, Lightguides, Optoelectronic communications and Optoelectronic devices and systems at several universities in Serbia and abroad.
Supervised over 50 M. Sc. theses and 18 Ph.D theses at three universities in Yugoslavia and abroad. Was editor in chief of Yugoslav periodical *Electrotechnik* (1980–1985). In the period 1982–1996 he was the director of *Nikola Tesla Museum* in Belgrade. For a long time he has been the President of *Nikola Tesla Society* for the promotion of scientific knowledge, and from 2000 President of *The Tesla Memorial Society* in New York. Organised International Nikola Tesla Symposiums in 1991, 1996 and 2006 (all in Belgrade). With co-authors organised three exhibitions about life and work of Nikola Tesla in SASA, Belgrade, part of which were presented at the World's Fairs in Tokyo and Seville, as well as in several Yugoslav cities.
Published over 280 papers in telecommunications, microwaves and optoelectronics. Held over twenty invited papers about his work at the universities in Yugoslavia, England, Wales, USA, Turkey and Austria. He presented his work in England, Italy, Holland, Belgian, Spain, Greece, Wales, Israel and Poland. Published two monographs in Serbian, six textbooks in the fields of microwaves and optoelectronics. Wrote introductions and comments in several books devoted to Nikola Tesla and Michael Pupin published in Yugoslavia and abroad. His work was recognized by numerous awards among which are Gold medal and plaque of periodical *Raum und Zeit*, Plaque and golden coin for contribution to YU-MTT Society (1998), The appreciation of invaluable services and contributions during the growth period of the Electrical Engineering Department METU, Ankara (2001) and others.

Faculty of Electrical Engineering and Serbian Academy of Sciences and Arts
Belgrade University

Knez Mihailova 35
RS-11000 Belgrade, Serbia
e-mail: emarinci@etf.bg.ac.yu, Aleksandar.Marincic@sanu.ac.yu

Prof. Dr. Alfred Nordmann (Darmstadt)

After receiving his Ph. D. in Hamburg (1986) and serving on the faculty of the Philosophy Department at the University of South Carolina (1988–2002), Alfred Nordmann became Professor of Philosophy and History of Science at Darmstadt Technical University.
His historical interests concern the negotiation of contested fields of scientific knowledge such as theories of electricity and chemistry in the 18th century, evolutionary biology and sociology in the 19th century, nursing science and nanoscale research in the 20th century. In particular, he studied the scientific contributions of Georg Christoph Lichtenberg, Antoine Lavoisier, Joseph Priestley, Charles Darwin, William Bateson, Heinrich Hertz, and Herbert Gleiter. His epistemological interests concern the trajectory that leads from Immanuel Kant via Heinrich Hertz and Ludwig Wittgenstein to contemporary analyses of models, simulations, and visualizations. He is president of the Lichtenberg Society.
Recent publications include *Wittgenstein's Tractatus: An Introduction* (Cambridge University Press, 2005), "Getting the Causal Story Right: Hermeneutic Moments in Nancy Cartwright's Philosophy of Science" in Stephan Hartmann, Carl Hoefer, and Luc Bovens (eds.): *Nancy Cartwright's Philosophy of Science* (New York: Routledge, 2008, pp. 369–388). Forthcoming in October 2008 is an introduction to the philosophy of technology. With Michael Friedman he edited *The Kantian Legacy in Nineteenth-Century Science* (Cambridge: MIT Press, 2006).

Institut für Philosophie
TU Darmstadt
Schloß
D-64283 Darmstadt, Germany
Visiting Professor at the Philosophy Department
University of South Carolina
Columbia, SC, 29205, USA
Homepage: http://www.philosophie.tu-darmstadt.de/nordmann/
e-mail: nordmann@phil.tu-darmstadt.de

Dr. James G. O'Hara (Hannover)

He is a Research Editor for the Leibniz Edition – a project of the Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and of the Academy of Sciences in Göttingen – and is based at the Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek – The State Library of Lower Saxony in Hannover.
To date he has coedited three volumes of the mathematical, scientific and technical correspondence of Leibniz (Leibniz: Sämtliche Schriften und Briefe, Dritte Reihe; vols 4, 5, and 6).
He is a graduate of the National University of Ireland (electrical engineering, 1970) and of the University of Manchester (M.Sc., 1973, and Ph.D., 1979, in history of science and technology). He worked at the universities of Delft, Stuttgart and Hamburg before joining the Leibniz project

in 1987.
He has worked on the manuscript papers and letters of nineteenth-century mathematicians and physicists including William Rowan Hamilton, Carl Friedrich Gauß and Heinrich Hertz and has a long-standing special interest in Anglo-Irish science and technology in the period from from the seventeenth to the nineteenth centuries.

Leibniz-Archiv
(Arbeitsstelle der Akademie der Wissenschaften in Göttingen),
Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek / Niedersächsische Landesbibliothek
Waterloostrasse 8
D-30169 Hannover, Germany
e-mail: James.Ohara@gwlb.de

Prof. Dr. Claus Peter Ortlieb (Hamburg)

studied mathematics, physics and computer science, dissertation 1976 in Applied Mathematics: *Duality and Dual Methods in Convex Control Problems*, professor of mathematics since 1985 at the University of Hamburg.
Key activities: mathematical modeling and simulation, case studies in biology, critical inquiry of mathematical models in economics, epistemology of mathematical modeling, modeling in mathematical education.
For publications see http://www.math.uni-hamburg.de/home/ortlieb/

Universität Hamburg
Department Mathematik, Zentrum für Modellierung und Simulation
Bundesstraße 55
D-20146 Hamburg, Germany
e-mail: ortlieb@math.uni-hamburg.de

Dr. Joachim Pelkowski (Ober-Mörlen, Germany)

Berufsausbildung. 1977–1985: Studium der Meteorologie an der Universität Hamburg. 1985–1987: Projektmitarbeiter am Institut für Meteorologie und Geophysik der J. W. Goethe-Universität Frankfurt. 1987–1993: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geophysik und Meteorologie der J. W. Goethe-Universität Frankfurt. 1993–1995: Promotion und Buchveröffentlichung: *Entropieerzeugung eines strahlenden Planeten: Studien zu ihrer Rolle in der Klimatheorie.* Thun, Frankfurt am Main: Verlag Harri Deutsch 1995 (206 p.).
Berufliche Tätigkeit. 1995–2001: Dozent an der kolumbianischen Nationaluniversität in Bogotá, im Lehrfach Physikalische Meteorologie. 2001–2003: Erneut Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geophysik und Meteorologie der J. W. Goethe-Universität Frankfurt. Vorlesungen über Strahlungstheorie. 2004- : Zusammenarbeit mit der Gruppe um B. Rutily am Centre de Recherche Astronomique de Lyon und mit dem kolumbianischen Wetterdienst.
Vorträge zur Geschichte der Meteorologie auf Tagungen oder auf Einladung (Polling 2004: „From Beaufort to Bjerknes and Beyond"', Edinburgh 2007: Alexander Buchan Memorial; 2006:

Vortragsreihe über Geschichte der Meteorologie beim Spanischen Wetterdienst in Madrid). Gelegentlich auch noch Vorlesungen an der Staatsuniversität Kolumbiens in Bogotá. 2007: Wahl zum Korrespondierenden Mitglied der Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
Interessensgebiete. Neben Geschichte der theoretischen Meteorologie, hauptsächlich atmosphärische Thermodynamik und Strahlungsübertragung, Veröffentlichungen in Fachzeitschriften.

Am Schlossberg 1
D-61239 Ober-Mörlen, Germany
e-mail: jo-ellen.pelkowski@t-online.de

Dr. John Preston (Reading, UK)

Senior Lecturer in Philosophy at the University of Reading, Reading, England.
His current research concerns the influence of certain late-nineteenth and early-twentieth century philosopher-scientists (notably Heinrich Hertz, Ludwig Boltzmann, and Ernst Mach) upon the work of Ludwig Wittgenstein.
He is the author of Feyerabend: *Philosophy, Science and Society* (Polity Press, 1997), and Kuhn's *The Structure of Scientific Revolutions: Readers' Guide* (Continuum, 2008). He has also edited *Thought and Language* (Cambridge University Press, 1997), the third volume of Paul Feyerabend's *Philosophical Papers: Knowledge, Science and Relativism* (Cambridge University Press, 1999), *The Worst Enemy of Science? Essays in Memory of Paul Feyerabend* (Oxford University Press, 2000), *Views into the Chinese Room: New Essays on Searle and Artificial Intelligence, (Oxford University Press, 2002), and Wittgenstein and Reason* (Blackwell, 2008). He has also written on the subject of German rock music.

The University of Reading
Department of Philosophy
Reading RG6 2AA, UK
e-mail: j.m.preston@reading.ac.uk

Dr. Oliver Rump (Hamburg)

Museum für Kommunikation Hamburg
Gorch-Fock-Wall 1
D-20354 Hamburg, Germany
http://www.museumsstiftung.de/stiftung/e011_willkommen.asp
e-mail: o.rump@mspt.de

Staatsrat Dr. Roland Salchow (Hamburg)

Diplom-degree in physics (general theory of relativity), doctorate degree in solid-state physics. Director and professor of the Federal Maritime and Hydrographic Agency of Germany as well as

Member of the Hamburg state parliament (up to 2001). From 2001 State Secretary for Science and Research in Hamburg.

State Secretary of the Ministry of Science and Research
Behörde für Wissenschaft und Forschung (BWF)
Hamburger Str. 37
D-22083 Hamburg, Germany
e-mail: rosalchow@aol.com

Dr. Albrecht Sauer (Bremerhaven)

Dr. Albrecht Sauer ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Schiffahrtsmuseum, Institut der Leibniz-Gemeinschaft, in Bremerhaven und leitet die Abteilungen „Nautik"', „Deutsche Schifffahrtsgeschichte der Frühen Neuzeit"' sowie die Bibliothek.
Publikationen: *Die Bedeutung der Küste in der Navigation des Spätmittelalters* Deutsches Schiffahrtsarchiv *15* (1992), 249–278. *Zur Praxis der Gezeitenrechnung in der Frühen Neuzeit. The nature of a number of men is to dislyke of all things not done by themselves* Deutsches Schiffahrtsarchiv **17** (1994), 93–150. *Das „Seebuch"'. Das älteste erhaltene Seehandbuch und die spätmittelalterliche Navigation in Nordwesteuropa* Bremerhaven/Hamburg (Schriften des Deutschen Schiffahrtsmuseums; 44) (2. Auf"|lage) 1997. *Der 'Spieghel der Zeevaerdt' des Lucas Jansz. Waghenaer im nautikgeschichtlichen Kontext. Kommentar zur Faksimile-Ausgabe Lucas Janszoon Waghenaer, Spiegel der Seefart* Amsterdam 1589, ND: Varel 1998. Sauer, Albrecht (Hrsg.): *Jens Jacob Eschels, Lebensbeschreibung eines alten Seemannes* Bremerhaven (Menschen und Schiffe) (2. Auf"|lage) 2006.

Deutsches Schiffahrtsmuseum Bremerhaven
Hans-Scharoun-Platz 1
D-27568 Bremerhaven, Germany
e-mail: sauer@dsm.museum

Prof. Dr. Gregor Schiemann (Wuppertal)

geb. 1954. Werkzeugmacherlehre, Studium des Maschinenbaus, der Physik und Philosophie, 1988 Diplom in Physik an der ETH Zürich, 1995 Promotion zum Dr. phil. an der TH Darmstadt, 2003 Habilitation an der Universität Tübingen. Seit 2004 Professor für Philosophie in Wuppertal.
Forschungsschwerpunkte: Wissenschaftsphilosophie, Geschichte der Wissenschaften und der Philosophie, Naturphilosophie.
Veröffentlichungsauswahl: *Was ist Natur? Klassische Texte zur Naturphilosophie* (Hrsg.). München: DTV 1996; *Phänomenologie der Natur* (hrsg. zus. mit Gernot Böhme). Frankfurt/M.: Suhrkamp 1997; *Wahrheitsgewissheitsverlust. Hermann von Helmholtz' Mechanismus im Anbruch der Moderne* Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1997 (engl.: *Hermann von Helmholtz' Mechanism: The Los of Certainty* Dordrecht: Springer 2008); *Natur, Technik, Geist. Kontexte der Natur nach Aristoteles und Descartes in lebensweltlicher und subjektiver Erfahrung* Berlin/New York: de Gruyter 2005. *Werner Heisenberg* München: Beck; *Werner*

Heisenberg München: H.C. Beck 2008; The Significance of the Hypothetical in the Natural Sciences (hrsg. zus. mit Michal Heidelberger). Berlin/New York: de Gruyter 2008.

Bergische Universität Wuppertal
Philosophisches Seminar / FB A
Gaußstr. 20
D-42119 Wuppertal, Germany
http://www.fba.uni-wuppertal.de/philosophie/lehrgebiet1/gregorschiemann.html
e-mail: schiemann@uni-wuppertal.de

PD Dr. phil. Rudolf Seising (Wien)

Rudolf Seising studied mathematics, physics, and philosophy at the Ruhr University of Bochum Diploma degree in 1986). He received the doctoral degree in philosophy of science from the Ludwig Maximilians University of Munich (LMU) in 1995, and a postdoctoral lecture qualification (PD) in history of science from the LMU in 2004 for his book on the history of the theory of fuzzy sets (published in English in 2007: *The Fuzzification of Systems. The Genesis of Fuzzy Set Theory and its Initial Applications – Developments up to the 1970s* (Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 216), Springer-Verlag 2007, and in German in 2005: *Die Fuzzifizierung der Systeme. Die Entstehung der Fuzzy Set Theorie und ihrer ersten Anwendungen – Ihre Entwicklung bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts.* Stuttgart: Franz Steiner Verlag (Boethius: Texte und Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik und der Naturwissenschaften; Band 54) 2005).
He has been scientific assistant for computer sciences at the University of the Armed Forces in Munich from 1988 to 1995 and scientific assistant for history of sciences at the same university from 1995 to 2002. From 2002 to 2008 he was scientific assistant in the Core unit for medical statistics and informatics at the University of Vienna Medical School, which in 2004 became the Medical University of Vienna. Since April 2008 he acts as a professor of the history of science at the Friedrich-Schiller University of Jena, Germany.
Rudolf Seising has been visiting scholar at the University of California at Berkeley in 2000, 2001 and 2002. He is Chairman of the IFSA Special Interest Group on History of Fuzzy Sets – IFSA SIG History and of the EUSFLAT Working Group "Philosophical Foundations". He will be editor of the book *Views on Fuzzy Sets and Systems from Different Perspectives. Philosophy and Logic, Criticisms and Applications* (Berlin [u.a.]: Springer 2008).

Medical University of Vienna
Core Unit for Medical Statistics and Informatics
Spitalgasse 23
A-1090 Vienna, Austria
e-mail: rudolf.seising@meduniwien.ac.at

Prof. Dr. Richard Strom (Amsterdam)

was born in New York City, USA, in 1944. While growing up in New York, he gained entrance to and attended the Bronx High School of Science. He earned a B. A. degree in Physics from Tufts University, and M. Sc. and Ph. D. degrees in Radio Astronomy from the University of Manchester (Jodrell Bank), UK. He is currently a senior research astronomer with ASTRON (the Netherlands Institute for Radio Astronomy) in Dwingeloo, and adjunct professor at the University of Amsterdam and James Cook University in Australia. Richard is a past secretary and member of the SOC of IAU Commission 40 and has been on the SOC of several conferences (including 'Woodfest', and IAU Colloquium 182, of which he was co-chair). He is a member of IAU Commissions 28, 34, 40 and 41, and has been on a number of time allocation panels for radio, infrared and X-ray telescopes.
His research interests include supernova remnants (especially those associated with historical supernovae), pulsars, large radio galaxies, radio polarimetry and interferometry, new telescopes, Chinese historical records, and the history of radio astronomy, especially in the Netherlands.

ASTRON, Radiosterrenwacht Dwingeloo
Sterrenkundig Instituut 'A. Pannekoek', University of Amsterdam
Postbus 2
NL-7990 AA Dwingeloo, Nederland
e-mail: strom@astron.nl

Prof. Dr. Roger H. Stuewer (Minneapolis, MN, USA)

University of Minnesota
Institute of Technology, Tate Laboratory of Physics
116 Church Street SE
Minneapolis, MN 55455 USA
e-mail: rstuewer@physics.umn.edu

PD Dr. Renate Tobies (Braunschweig)

Renate Tobies, Technical University of Braunschweig, she studied mathematics, chemistry, physics, pedagogics and psychology, and completed her habilitation degree in history of mathematics and sciences; correspondending member of *Académie internationale d'histoire des sciences* (Paris) and of *Agder Academy of Sciences and Lettres* in Kristiansand, Norway.
She held visiting professorships at the universities in Braunschweig, Kaiserslautern, Saarbrücken, Linz (Austria), and a chair by proxy at the university in Stuttgart.
She published nine books and more than hundred papers.
http://www.mathematik.uni-kl.de/People/tobies.html

Historisches Seminar
Technische Universität Braunschweig
Schleinitzstr. 13

D-38023 Braunschweig, Germany
e-mail: r.tobies@tu-bs.de

Prof. Dr. Martin Wegener (Karlsruhe)

Universität Karlsruhe (TH)
Institut für Angewandte Physik
Wolfgang-Gaede-Straße 1
D-76128 Karlsruhe, Germany
e-mail: martin.wegener@physik.uni-karlsruhe.de

Prof. Dr. Horst A. Wessel (Düsseldorf)

geboren am 12.4.1943 in Bonn, 1967 Studium der Germanistik und Geschichte, 1972 1. Philologische Prüfung für das Lehramt an Gymnasien, Universität Bonn, 1973–1976 Assistent Universität Bonn, 1979 Promotion zum Dr. phil., 1995 Habilitation und Privatdozent (Wirtschaftsgeschichte), 2001 apl. Professor der Heinrich-Heine Universität Düsseldorf; 1976–1983 Geschäftsführer der Gesellschaft für Unternehmensgeschichte (GUG), seit 1983 Leiter des Mannesmann-Archivs.
Monographien (Auswahl): Die Entwicklung des elektrischen Nachrichtenwesens in Deutschland und die rheinische Industrie (1983), Kontinuität im Wandel – 100 Jahre Mannesmann 1890–1990 (1990), Sicherheit und Normung – 100 Jahre VDE-Normungswerk (1994), Demontage – Enteignung – Wiederaufbau. Teil 1: Die elektrotechnische Industrie nach 1945 (1997), Die Geschichte des Rades: ein gutes Stück Kronprinz. 100 Jahre Kronprinz AG, Solingen 1897–1997 (1998), Das elektrische Jahrhundert – Entwicklungen und Wirkungen der Elektrizität im 20. Jahrhundert (2002), Jahrhunderte der Hochspannung (2004), Von der Leitung zum Netz (2006); 1984–2007 Organisator der VDE-Kolloquien zur Geschichte der Elektrotechnik und Herausgeber der Tagungsbände, Herausgeber zahlreicher weiterer Monographien.

(Heinrich Heine-Universität Düsseldorf /
Philosophische Fakultät - Abteilung Wirtschaftsgeschichte)
Mannesmannröhren-Werke GmbH / Mannesmann-Archiv
Wiesenstraße 36
D-45473 Mülheim a. d. Ruhr, Germany
e-mail: horst.a.wessel@mrw.de

PD Dr. Karl Heinrich Wiederkehr (Hamburg)

Zusammen mit meinem Zwillingsbruder Hans Konrad wurde ich am 1. Februar 1922 in Oftersheim geboren. An der Hebelschule in Schwetzingen (Realgymnasium) machte ich 1941 das Abitur. Ich meldete mich freiwillig zur Kriegsmarine und wurde als Ingenieuroffizier ausgebildet. Nach dem Kriege studierte ich an der Universität Hamburg Physik, Mathematik, Chemie und Philosophie und machte 1949 das Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien.

Von 1950 bis 1984 war ich im Hamburger Schuldienst tätig, zuletzt als Studiendirektor und Oberstufenkoordinator. 1962 promovierte ich in Hamburg mit dem von Hans Schimank mir gegebenen Thema über Wilhelm Webers Elektrodynamik.
1967 erschien von mir die Biografie zu Wilhelm Eduard Weber (1804–1891), Bd. 32 der Reihe Große Naturforscher, 1970 erschien gemeinsam mit H.-J. Bersch das Begleitbuch Klassische Experimente der Physik, rororo tele (13teilige Sendereihe im NDR). 1974 habilitierte ich mit einem Thema zu René-Just Haüy aus der Kristallographie und erwarb den Status eines Privatdozenten für Geschichte der Naturwissenschaften.
Die Habilitationsschrift erschien, aufgegliedert in vier Teilen, in *Centaurus* 1977 und 1978. Für das Lexikon Grosse Naturwissenschaftler, hrsg. von Fritz Krafft, wurden von mir 85 Kurzbiographien geschrieben, für Die Grossen Physiker, hrsg. von K. v. Meyënn 1997 vier längere Biographien.
Des weiteren verfaßte ich zahlreiche Artikel für wissenschaftliche Zeitschriften, hauptsächlich zur Elektrodynamik, Kristallographie und Geophysik.

Schwerpunkt Geschichte der Naturwissenschaften (SPGN)
Department Mathematik, MIN-Fakultät, Universität Hamburg
Bundesstr. 55 Geomatikum
D-20146 Hamburg, Germany
Private address: Birkenau 24
D-22087 Hamburg, Germany

Dr. Roland Wittje (Regensburg)

University of Regensburg
Lehrstuhl für Wissenschaftsgeschichte
D-93040 Regensburg, Germany
e-mail: roland.wittje@psk.uni-regensburg.de

Dr. Stefan L. Wolff (München)

Studium Mathematik, Physik und Astronomie in Berlin und Hamburg, 1980 Diplom Physik; 1988 Promotion in der Wissenschaftsgeschichte an der LMU München. Lehrbeauftragter für Physikgeschichte am Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaften LMU München und Mitarbeiter am Forschungsinstitut des Deutschen Museums München.
Diverse Forschungsprojekte zur Physik des 19. und 20. Jahrhunderts (Geschichte der kinetischen Gastheorie, Vertreibung und Emigration von Physikern im Nationalsozialismus, Wilhelm Wien); Mitherausgeber eines Buches zur Geschichte des Deutschen Museums im Nationalsozialismus.

Institut für Geschichte der Naturwissenschaften
der Universität München und
Forschungsinstitut des Deutschen Museums
Deutsches Museum

Postfach
D-80306 München, Germany
http://www.gn.geschichte.uni-muenchen.de/personen/mitarbeiter/wolff/index.html
http://www.deutsches-museum.de/forschung/wissenschaftl-mitarbeiter/ebene1/ebene2/dr-stefan-wolff/
e-mail: S.Wolff@deutsches-museum.de

Prof. Dr. Gudrun Wolfschmidt (Hamburg)

Dissertation *Analysis of close binary systems*, Dr. Remeis Observatory Bamberg, Astronomical Institute of the Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg, 1st and 2nd State Examination (physics and mathematics), high school teacher (Gymnasium).
Since 1987 research in history of science in the Deutsches Museum in Munich; conception and realisation of the permanent exhibition „Astronomy and Astrophysics"' in the Deutsches Museum (1992, catalogue 1993). From 1992 to 1995 scientific assistant in the research institute for history of science and technology in the Deutsches Museum, different exhibitions (e. g. Copernicus 1994), university teaching and habilitation *Genesis of Astrophysics* (1997) at the Ludwig-Maximilians University in Munich; since 1997 Professor at the Institute for History of Science, Mathematics and Technology of Hamburg University.
Focus of research: History of astronomy and astrophysics (Early Modern Period and 19th/20th century) as well as scientific instruments, history of physics, chemistry and technology.
Book publications/monographs: *Copernicus – Revolutionär wider Willen* (1994), *Milchstraße – Nebel – Galaxien. Strukturen im Kosmos von Herschel bis Hubble* (1995), *Popularisierung der Naturwissenschaften* (2002), *Vom Magnetismus zur Elektrodynamik* (2005), *Development of Solar Research. Entwicklung der Sonnenforschung* (with Axel Wittmann and Hilmar Duerbeck) (2005), *Astronomy in and around Prague* (with Martin Šolc) (2005) and *Hamburgs Geschichte einmal anders – Entwicklung der Naturwissenschaften, Medizin und Technik* (2007), *Von Hertz bis Handy* (2007); Editor of *Nuncius Hamburgensis, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften.*

Bereich Geschichte der Naturwissenschaften, Mathematik und Technik
Department Mathematik, MIN-Fakultät, Universität Hamburg
Bundesstraße 55 – Geomatikum, D-20146 Hamburg
http://www.math.uni-hamburg.de/home/wolfschmidt
http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/w.htm
e-mail: wolfschmidt@math.uni-hamburg.de

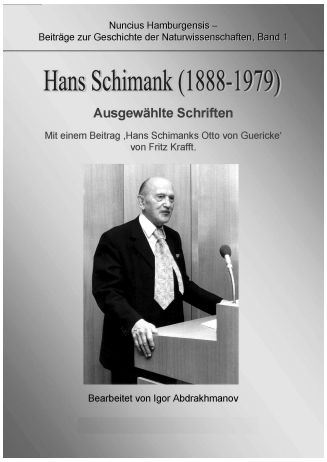
Nuncius Hamburgensis

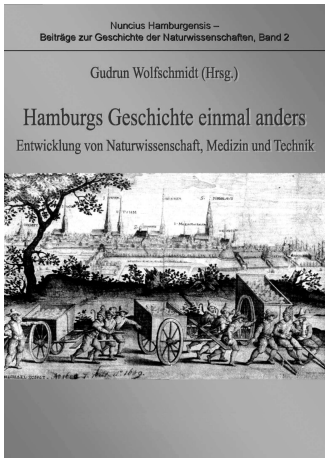
Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften

Norderstedt: Books on Demand.

Hrsg. von Gudrun Wolfschmidt,
Bereich Geschichte der Naturwissenschaften, Department Mathematik,
Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften (MIN), Universität Hamburg
ISSN 1610-6164

Diese Reihe „Nuncius Hamburgensis“
wird gefördert von der Hans Schimank-Gedächtnisstiftung.
Dieser Titel wurde inspiriert von „Sidereus Nuncius“ und von „Wandsbeker Bote“.





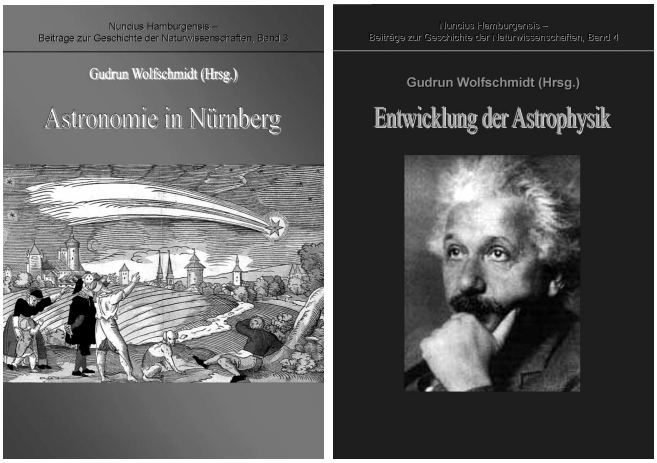
- Band 1 (2008):
  Hans Schimank (1888–1979) Ausgewählte Schriften.
  Mit einem Beitrag ‚Hans Schimanks Otto von Guericke' von Fritz Krafft.
  Bearbeitet von Igor Abdrakhmanov.

- Band 2 (2007):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): **Hamburgs Geschichte einmal anders – Entwicklung der Naturwissenschaften, Medizin und Technik – Teil 1.**

- Band 3 (2008):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): **Astronomie in Nürnberg**
  anläßlich des 500. Todestages von Bernhard Walther (1430–1504) Mitte Juni 2004 und des 300. Todestages von Georg Christoph Eimmart (1638–1705) am 5. Januar 2005. Proceedings der Tagung vom 2.–3. April 2005 in Nürnberg.

- Band 4 (2008):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): **Entwicklung der Astrophysik.**
  Proceedings des Kolloquiums des Arbeitskreises Astronomiegeschichte in der Astronomischen Gesellschaft am 26. September 2005 in Köln.

- Band 5 (2008):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.):
  Anfänge der Theoretischen Physik in Hamburg.
  Vorwort von Kurt Scharnberg und Klaus Fredenhagen.



- Band 6 (2007):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): **Von Hertz zum Handy – Entwicklung der Kommunikation. Begleitbuch zur Ausstellung zum 150. Geburtstag von Heinrich Hertz (1857–1894).**

- Band 7 (2009):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.): **Hamburgs Geschichte einmal anders – Entwicklung der Naturwissenschaften, Medizin und Technik, Teil 2.**

- Band 8 (2008):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.):
  Prähistorische Astronomie und Ethnoastronomie
  Proceedings der Tagung am 24. September 2007 in Würzburg.

- Band 9 (2009):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.):
  Naturwissenschaft, Technik und Kultur in London

- Band 10 (2008):
  Wolfschmidt, Gudrun (ed.): **Heinrich Hertz (1857–1894) and the Development of Communication** – Proceedings of the International Scientific Symposium in Hamburg, Oct., 8–12, 2007.

- Band 11 (2008):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.):
  Astronomisches Mäzenatentum in Europa
  Proceedings der Tagung an der Kuffner-Sternwarte in Wien, „Astronomisches Mäzenatentum in Europa"', 7.–9. Oktober 2004.

- Band 12 (2009):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.):
  Astronomie in neuen Wellenlängen – historische Studien
  Proceedings des Kolloquiums des Arbeitskreises Astronomiegeschichte in der Astronomischen Gesellschaft am 24. September 2007 in Würzburg.

- Band 13 (2009):
  Cura, Katrin: **Entwicklung der Klebstoffe.**
  Bearbeitet von Gudrun Wolfschmidt.

- Band 14 (2008):
  Wolfschmidt, Gudrun (Hrsg.):
  „Navigare necesse est"' – Geschichte der Navigation.
  Begleitbuch zur Ausstellung in Hamburg, Okt. 2008 bis Juni 2009.

Web-Seite zur aktuellen Information

`http://www.math.uni-hamburg.de/spag/ign/research/nuncius.htm`

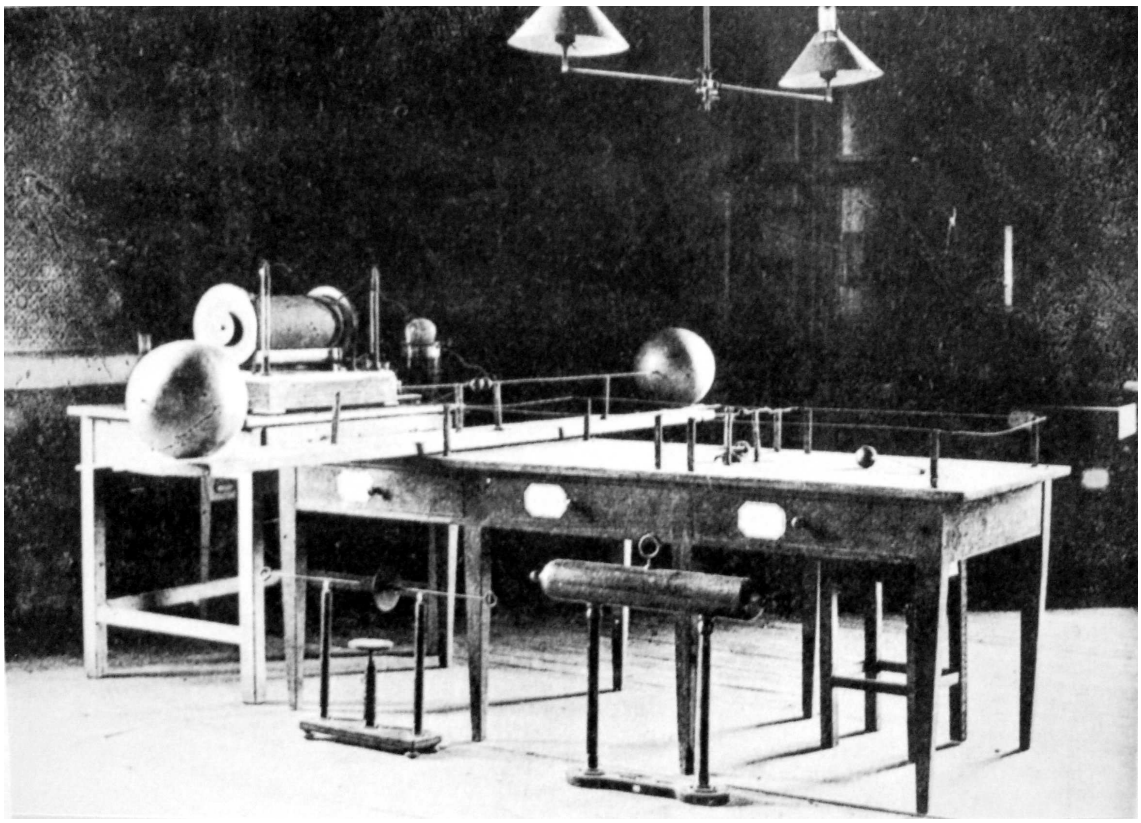


Figure 36.1:
The large oszillator of Heinrich Hertz

Index

A

Abbe, Cleveland (1838–1916), 293, 297, 298, 307
Adams, Comfort Avery (1868–1958), 357
Adorno, Theodor W. (1903–1969), 68, 70
Ahrens, Georg (1896–1974), 280
Aischylos (525–456 v.Chr.), 422
Albrecht Unsöld (1905–1995), 506
Althoff, Friedrich Theodor (1839–1908), 258
Ampère, André Marie (1775–1836), 152
Anderson, Laurie (*1947), 536
Angot, A. (1848–1924), 300
Anscomb, Gertrude Elisabeth Marie (1919–2001), 79, 93, 113
Antunes, Jorge (*1942), 535
Appleton, Edward (1892–1965), 491
Archenhold, Friedrich Simon (1861–1939), 172
Arco, Georg Graf von (1869–1940), 358, 362, 411–413, 415, 418, 427, 428, 430, 431, 439, 440, 450, 451, 454, 461, 464, 465
Arrau, Claudio (1903–1991), 548
Artom, Alessandro (1867–1927), 455, 457
Auguste Victoria [Deutsche Kaiserin] (1858–1921), 419, 435, 436

B

Bäcklund, Albert Victor (1845–1922), 161, 166, 169, 170, 176
Bäßler, Karl (1888–1973), 260
Ballin, Albert (1857–1918), 415
Barkhausen, Georg Heinrich (1881–1956), 372, 373, 567, 577, 578, 580, 592, 595
Bateson, William (1861–1926), 646
Bauch, Friedrich Wilhelm Otto (1904–1996), 550
Bavink, Bernhard (1879–1947), 241, 247
Bech Jr, A. (1st half of 20th century), 400
Beck, Dominikus (1732–1791), 148
Becker, Friedrich E. (1900–1985), 503, 509, 511, 513, 515
Becker, Richard (1887–1955), 585, 595
Becquerel, Alexandre Edmond (1820–1891), 182, 187, 192
Bellini, Eltone (1876–1943), 456, 457
Beltrami, Eugenio (1835–1900), 208
Berg, Aksel Ivanovich (1893–1979), 372, 373
Berkeley, George (1684–1753), 124
Berlage, Hendricus Petrus (1821–1907), 468, 495
Berlage, Rebecca Wilhelmina, nee Muntendam (1821–1901), 468, 495
Bezold, Wilhelm von (1837–1907), 284, 286, 287, 289–291, 296, 298, 307
Bigelow-Rosen, Lucie (1890–1968), 532
Bijl, Hendrik Johannes van der (1887–1948), 567
Biot, Jean-Baptiste (1774–1862), 187, 289
Blazhko, Sergey Nikolaevich (1870–1956), 525
Blohm, Hermann (1858–1930), 262
Böckmann, J.L. (second half of 18th century), 288

Bode, Harald (1909–1987), 539, 557, 560
Bois-Reymond, Aimée → Runge, Aimée, 583
Bois-Reymond, Emil du (1818–1896), 188, 223, 229, 583, 594
Bok, Siegfried Thomas (*1892), 472, 498
Boltzmann, Ludwig (1844–1906), 73–75, 79, 92, 228, 301, 312, 648
Bonch-Bruyevich, Mikhail Aleksandrovich (1888–1940), 360
Boonacker, Agatha Cornelia → Voogt, Agatha Cornelia de, 496
Bose, Georg Matthias (1710–1761), 144, 145, 148
Bosscha, Johannes (1831–1911), 161, 166, 168–170, 176
Bourbaki, Nicolas (pseudo.), 124, 131
Brahms, Johannes (183–1897), 20
Brandt, Leo (1908–1971), 509, 515
Branly, Eugène Édouard Désiré (1844–1940), 24, 161, 163, 164, 166–168, 170, 171, 173, 176, 177, 350, 356, 364, 393, 398, 424, 439
Braun, Karl Ferdinand (1850–1918), 25, 173, 349, 350, 352, 358, 360–367, 369, 373–375, 398, 399, 411–414, 416, 418, 419, 428–430, 433, 439, 440, 451, 455, 456, 565, 566, 574, 575, 624
Braun, Sigismund von (1911–1998), 555
Braun, Wernher von (1912–1977), 555
Bredow, Hans (1879–1959), 275, 280, 412, 415–418, 453, 465
Breisig, Franz (1868–1934), 372
Bright, Charles Tilston (1832–1888), 182
Bright, Edward Brailsford (1831–1913), 182
Brisson, Mathurin Jacques (1723–1806), 140, 148
Bruce, Adreana Jacoba → Doorman, Adreana Jacoba, 497
Buchholz, Barbara (*1959), 535–537
Buddingh, Johanna → Voogt, Johanna de, 494
Bühl, Alfons (1900–1945), 261
Bülow, Bernhard Fürst von [Reichskanzler 1900 bis 1909] (1849–1929), 415

C

Cantor, Georg (1845–1918), 128, 131
Carnap, Rudolf (1891–1970), 68, 76, 124
Carnot, Nicolas Léonard Sadi (1796–1832), 298
Carson, John R. (1886–1940), 592, 595
Casimir, Hendrik Brugt Gerhard (1909–2000), 486
Cassirer, Ernst (1874–1945), 54, 70, 75, 79, 211, 212
Castendijk, Elisabeth → Voogt, Elisabeth de, 497
Castendijk, Henry Robertus Joan (*1894), 497
Cecilie [Kronprinzessin] (1886–1954), 472
Cézanne, Paul (1839–1906), 77
Chevalier, Charles (1804–1859), 187, 193
Chopin, Frédéric (1810–1849), 550
Chwolson, Orest Danilovich (1852–1934), 161, 164–166, 170–172, 174–176
Clapeyron, Benoît (1799–1864), 287, 298
Clausius, Rudolf (1822–1888), 285, 287, 298, 304
Cohen, Hermann (1842–1918), 211, 212
Cooper, Martin (*1928), 606
Copernicus, Nikolaus (1473–1543), 654
Corver, Jan (1878–1956), 26, 397, 399, 400, 402, 403, 405, 407, 470, 474–477, 479, 480, 494, 498–500
Courant, Nina, geb. Runge (*1891), 583, 584, 589
Courant, Richard (1888–1972), 583, 584, 595
Cowell, Henry Dixon (1897–1965), 532
Cuneus, Andreas (1712–1788), 139
Cuthbertson, John (1743/45–1821), 141, 144, 148

D

Daene, Herbert (1906–1975), 507, 586
Dalton, John (1766–1844), 289, 290
Dames, Wilhelm (1889–1945), 269
Darboux, Gaston (1842–1917), 207–209
Darwin, Charles (1809–1882), 223, 289, 646
Darwin, Erasmus (1731–1802), 289
De Forest → Forest, Lee de, 358
De la Rive, Lucien → La Rive, Lucien de, 24
Debye, Peter (1884–1966), 261
Dehn, Max (1878–1952), 594
Desaguliers, Jean Théophile (1683–1744), 137, 145, 149
Dieminger, Walter E. (1907–2000), 173, 177
Diesterweg, Friedrich Adolf Wilhelm (1790–1866), 277
Dines, W.H. (1855–1927), 285, 305, 307
Do[o]rman, Johann Diederich (1713–1792), 497
Dolbear, Amos Emerson (1837–1910), 393
Doorman, Aagje Marees, nee Huisduinen (1777–1817), 497
Doorman, Adreana Jacoba, nee Bruce (1821–1903), 497
Doorman, Alida Jacoba, nee Gerlach (1787–1865), 497
Doorman, Carel Willem Frederik (1853–1929), 497, 498
Doorman, Elisabeth → Voogt, Elisabeth de, 469
Doorman, Heinrich Jan Diederich (1744–1794), 497
Doorman, Hendrikus Johannes (1867–1934), 498
Doorman, Johannes Diderikus (1770–1827), 469, 497
Doorman, Karel Willem Frederik (1821–1899), 497
Doorman, Karel Willem Frederik Marie (1889–1942), 469, 498
Doorman, Robert Gerrit (1860–1954), 497
Doorman, Willem August Henri (1857–1930), 476, 497
Doppler, Christian (1803–1853), 241
Dorman, Harmen (∼1654–1741), 497
Dröge, Franz (middle of 20th century), 506
Driescher, Hans (1903–1989), 542
Drude, Paul (1863–1906), 100, 104, 151, 157, 158
Du Bois-Reymond → Bois-Reymond, Emil du, 583
Ducretet, Eugene (1844–1915), 358
Dumas, Jean Baptiste André (1800–1884), 187

E

Eggert, Moritz (*1965), 535
Einstein, Albert (1879–1955), 17, 18, 24, 25, 94–96, 99, 100, 102–105, 232–238, 240–243, 245–248, 275, 595, 619
Ekholm, Nils Gustaf (1848–1923), 301, 308
Eötvös, Loránd (1848–1919), 244
Epstein, Margot (1890–1942), 543, 552
Espy, James (1785–1860), 290, 293
Euklid von Alexandria (365–300 v.Chr.), 43, 127
Euler, Leonhard (1707–1783), 316, 317

F

Faraday, Michael (1791–1867), 23, 151–154, 158, 159, 163, 165, 167, 169–171, 173, 188, 191, 194, 239, 348, 350, 351, 358, 398, 424
Feddersen, Berend Wilhelm (1832–1918), 24, 160–177, 621
Ferguson, James (1710–1776), 144, 149
Ferrié, Gustave Auguste (1868–1932), 567
Fessenden, Reginald Aubrey (1866–1932), 358, 388, 393, 455
Feyerabend, Paul (1924–1994), 648
Fischer, Hans W. (1876–1945), 280, 281

Fitzgerald, George Francis (1851–1901), 24, 88, 331–336, 343, 344
Fizeau, Armand Hippolyte Louis (1819–1896), 183, 193
Fjeldstad, J.E. (fl. 1925), 292, 308
Flammarion, Camille (1842–1925), 469
Fleming, Sir John Ambrose (1849–1945), 193, 565–567
Forest, Lee de (1873–1961), 358, 393, 455, 564, 567, 568, 571
Foucault, Jean Bernard Léon (1819–1868), 184, 193
Fränz, Kurt (*1912), 504, 580, 596
Fröbel, Friedrich Wilhelm August (1782–1852), 277
Franck, James (1882–1964), 265, 266
Franklin, Benjamin (1706–1790), 145, 146, 195, 382, 394
Frege, Gottlob (1848–1925), 64, 73, 77, 78, 83, 108, 114, 228
Frejman, Imant Georgievich (1890–1929), 372, 373
Fresnel, Jean Augustin (1788–1827), 354
Friedrich Wilhelm I. von Brandenburg [Großer Kurfürst] (1620–1688), 418
Fry, Thornton C. (1892–1991), 577, 580, 592, 593, 596

G

Gaede, Wolfgang (1878–1945), 569
Galas, Diamanda (*1955), 536
Galilei, Galileo (1564–1642), 17, 53, 56–60, 62, 65, 68, 70, 71, 126, 235, 240
Gans, Richard Martin (1880–1954), 273
Gauß, Carl Friedrich (1777–1855), 63, 64, 157, 159, 169, 206, 207, 318, 585, 647
Gay-Lussac, Joseph Louis (1778–1850), 282–284, 289, 290
Geiger, Hans (1882–1945), 271
Geißler, Heinrich (1814–1879), 182, 183, 189, 192, 195, 367, 564
Gerlach, Alida Jacoba → Doorman, Alida Jacoba, 497
Gilbert, William (1544–1603, 136
Gleiter, Herbert (*1938), 646
Goebbels, Joseph (1897–1945), 557, 559
Goethe, Johann Wolfgang von (1749–1832), 37, 50, 51
Goldberg, M. J. & Söhne [Firma], 532
Goldstein, Eugen (1850–1930), 154, 155
Goslich, Siegfried (*1911), 550
Gounod, Charles (1818–1893), 557
Grainger, Percy (1882–1961), 532, 535
Grieg, Edvard (1843–1907), 550
Günterschulze, Adolf (1878–1967), 586
Guldberg, C.M. (1836–1902), 298, 299
Gundelach, Emil (fl. 1930), 564, 565, 574
Gundlach, Friedrich Wilhelm (1912–1994), 589, 590, 596

H

Habann, Erich (*1892), 589, 596
Hachenberg, Otto (1911–2001), 507
Hadamovsky, Eugen (1904–1945), 260, 271
Haeckel, Ernst (1834–1919), 242, 248
Händel, Georg Friedrich (1685–1759), 20, 550, 557
Hamilton, William Rowan (1805–1865), 204, 206–209, 245, 647
Hammond, Fred C. (2. Hälfte 19. Jh. - 1. Hälfte 20. Jh.), 548
Hann, Julius von (1839–1921), 291
Hannibal (246–183 v.Chr.), 422
Hausen, Christian August (1693–1743), 134, 137, 149
Haüy, René-Just (1743–1822), 653
Heaviside, Oliver (1850–1925), 103, 592, 597
Heinrich von Preußen [Prinz Heinrich] (1862–1929), 413, 415, 431
Heisenberg, Werner (1901–1976), 229, 273, 649
Helberger, Bruno (1884–1961), 544, 551

Hellmann, Gustav (1854–1939), 288
Helm, Georg (1851–1923), 223
Helmholtz, Hermann von (1821–1894), 18, 23–25, 30–42, 44, 46–51, 93, 151, 153–156, 200, 201, 223, 229, 239, 242, 245, 248, 261, 279, 284–287, 312, 320, 329, 333, 354, 363, 619
Henry, Joseph (1797–1878), 188
Herlofson, Nicolai (1916–2004), 299
Hermann, Bernhard (1911–1975), 534
Herschel, Friedrich Wilhelm (1738–1822), 654
Hertz [Schönchen] (1760–1834), 255
Hertz, Anna Elisabeth, geb. Pfefferkorn (1835–1910), 257, 265, 269, 279, 281
Hertz, Benjamin Wolff (1720–1788), 255
Hertz, Betty, geb. Oppenheim (1802–1872), 255, 256
Hertz, Dagobert (1809–1889), 256
Hertz, David Wolff (1757–1822), 255
Hertz, Emma Melanie [Schwester] (1873–1966), 257
Hertz, Eva (1805–1886), 256
Hertz, Gustav (1887–1975), 23, 253, 254, 265–268, 270–273, 279
Hertz, Gustav Ferdinand (1827–1914), 17, 253, 254, 256, 257, 264, 269, 270, 274, 277, 279, 281
Hertz, Gustav Theodor [Bruder] (1858–1904), 257, 265, 279
Hertz, Heinrich David (1797–1863), 255, 256
Hertz, Heinrich Rudolph (1857–1894)
Hertz, Johanna (1887–1967), 209, 262, 265, 285, 286, 292, 308, 345
Hertz, Mathilde (1891–1975), 253, 254, 262–265, 270–272, 345
Hertz, Otto Hieronymus [Bruder] (1867–1884), 257
Hertz, Rudolf Johannes [Bruder] (1861–1933), 257
Hertzsprung, Ejnar (1873–1967), 523
Heutsz, Johannes Benedictus van (1851–1924), 498
Hewitt, Peter Cooper (1861–1921), 565, 566, 575
Hey, James Stanley (1909–2000), 484, 499, 505, 513, 515
Hilbert, David (1862–1943), 64, 71
Hindemith, Paul (1895–1963), 533, 537, 541
Hitchcock, Alfred (1899–1980), 534
Hitler, Adolf 1889–1945, 18, 267, 269, 271
Hoepner, Erich (1st half of 20th century), 586, 588
Hollmann, Friedrich von (1842–1913), 413, 418
Hopkinson, John (1849–1898), 357
Hort, Wilhelm (1878–1938), 541
Houtgast, Jacob (1908–1982), 484, 486, 487, 489, 499
Hubble, Edwin Powell (1889–1953), 654
Hülsmeyer, Christian (1881–1957), 457, 458, 465, 504, 573
Hughes, Edward David (1831–1900), 425, 439
Huisduinen, Aagje Marees → Doorman, Aagje Marees, 497
Hull, Albert Wallace (1880–1966), 589
Hulst, Hendrik Christoffel van de (1918–2000), 484, 486, 493, 499, 500
Hume, David (1711–1776), 61, 62, 71, 124
Huth, Erich F. (fl. 1930), 572
Huygens, Christiaan (1629–1695), 316, 317

I

Idzerda, Hanso Henricus Schotanus à Steringa (1885–1944), 26, 397, 405–407

J

Jacobi, Carl Gustav Jacob (1804–1851), 207, 209

Jacobs, Aletta (1854–1929), 497
Jacoby, Richard (1877–1941), 582, 583
Jameson, Annie → Marconi, Annie, 398
Jansky, Karl Guthe (1905–1950), 484, 499, 504
Jesse, Henk (1905–2001), 405, 407
Jolly, Johann Philipp Gustav von (1809–1884), 312
Jong van Beek en Donk, Cécile de (1866–1944), 497
Joule, James Prescott (1818–1889), 242, 284, 290

K

Köppen, Wladimir (1846–1940), 292, 293, 298
Kant, Immanuel (1724–1804), 34, 42, 43, 49, 52, 61–63, 68, 71, 81–84, 86, 92, 202, 204, 205, 212, 213, 215, 223, 229, 237, 245, 248, 646
Kapp, Gisbert (1852–1922), 410
Karajan, Herbert von (1908–1989), 561
Kavina, Lydia (*1967), 535–537
Kelvin → Thomson, William, 205
Kepler, Johannes (1571–1630), 516, 519
Kiepenheuer, Karl Otto (1910–1975), 506
Kilgore, G. Ross (*1907), 589, 590
Kirchhoff, Gustav Robert (1824–1887), 175, 312, 370
Kleen, Werner (1907–1991), 588, 592, 593, 597
Kleist, Ewald Jürgen (1700–1748), 139
Kniepen, Peter (*1889), 586, 588
Koch, F. A. (1st half of 20th century), 403, 405, 476
Koch, O. P. (1st half of 20th century), 403, 405, 476
Kock, Winston E. (1909–1982), 555–558
Koenigsberger, Leo (1837–1921), 51
Kohlrausch, Friedrich Wilhelm Georg (1840–1910), 154, 192, 370
Kohlrausch, Rudolf (1809–1858), 152, 154, 158
Komarov, Vladimir Mikhaylovich (1927–1967), 535
Kosack, Emil (1875–1953), 185–187, 189, 190, 194
Koyré, Alexandre (1892–1964), 56, 57, 71
Kraus, Karl (1874–1936), 73, 228
Krug, Erich (middle of 20th century), 510, 515
Kuckuck, Sophie → Römkorff, Sophie, 187
Kundt, August (1839–1894), 258, 273, 370
Kutta, Martin Wilhelm (1867–1944), 583

L

La Barbara, Joan (*1947), 536
La Rive, Lucien de (1834–1924), 24, 331, 333, 335–338, 340, 341, 343–345
Laag, Anna Maria ter (*1910), 497
Lagrange, Joseph-Louis (1736–1813), 204, 207, 319
Lambert, Johann Heinrich (1728–1777), 301, 303, 308
Lanchester, Frederick William (1868–1946), 596
Landé, Alfred (1888–1976), 255
Lange, Alwine, geb. Middendorf (1827–1882), 277
Lange, Wichard (1826–1884), 277
Langmuir, Irving (1881–1957), 567
Laplace, Pierre-Simon (1749–1827), 205, 284, 289, 318, 319, 589
Laue, Max von (1879–1960), 233, 249, 260, 262
Lavoisier, Antoine Laurent de (1743–1794), 242, 646
Lebedev, Peter (1866–1912), 355, 370
Lefstad, Ragnhild (2. Hälfte 20. Jh.), 551
Leibniz, Gottfried Wilhelm (1646–1716), 317, 328, 329, 625, 643, 646
Leithäuser, Gustav (1881–1969), 538, 540, 541, 544, 548–551, 554

Lely, Cornelis (1854–1929), 397, 403, 475
Lenard, Philipp (1862–1947), 18, 25, 93, 105, 109, 153, 156, 158, 201, 243, 248, 261, 272, 273, 279, 312
Lenin, Wladimir Iljitsch Uljanow (1870–1924), 532
Leonardo da Vinci (1452–1519), 71
Lever, William Hesketh (1851–1925), 412
Lichtenberg, Georg Christoph (1742–1799), 646
Liebau [Ingenieur] (1. Hälfte 20. Jh.), 551
Lieben, Robert von (1878–1913), 565, 567
Liouville, Joseph (1809–1882), 207
Lipschitz, Rudolf (1832–1903), 207–209
Locke, John (1632–1704), 124
Lodge, Sir Oliver Joseph (1851–1940), 350, 356, 358, 359, 377, 383, 393, 399, 504
Loewe, Siegmund (1885–1962), 560
Loewenstein, Fritz (fl. 1900), 388
Loos, Adolf (1870–1933), 73, 228
Lorentz, Hendrik Antoon (1853–1928), 104, 105, 151, 156, 158, 202, 207, 209, 235, 241, 243, 244, 322
Lorenz, Carl (1844–1889), 451, 456
Louis XV [king 1715 to 1774] (1710–1774), 141

M

Mach, Ernst (1838–1916), 51, 75, 76, 223, 229, 237, 648
Mager, Jörg (1880–1939), 532, 539–542, 548, 554
Magnus, Heinrich Gustav (1802–1870), 290
Mahler, Gustav (1860–1911), 20
Maille, Pierre H. (1802–1882), 291
Malzet, Sébastien Louis Jacquet de (1715–1800), 142, 149
Mandelstam, Leonid (1879–1944), 25, 350, 352, 357, 360, 364, 365, 367–371, 373, 375
Manno, Richard (fl. 1900), 219, 230
Marat, Jean Paul (1743–1793), 136, 149
Marconi, Annie, born Jameson (1843–1920), 398
Marconi, Giuseppe (1826–1904), 398
Marconi, Guglielmo (1874–1937), 24–26, 161, 162, 164, 167, 170–173, 175, 192, 260, 346, 349, 350, 355–365, 377, 383, 384, 393, 394, 396–400, 407–410, 412, 414–419, 421, 424–428, 430–436, 438–440, 450–454, 457, 459, 461, 463, 470, 471, 475, 599
Marič, Mileva (1875–1948), 240
Martin, Steven M. (*1954), 535
Martinů, Boleslav (1890–1959), 532, 535
Marx, Erwin (1893–1980), 375
Masson, Antoine-Philibert (1806–1860), 188
Maxwell, James Clerk (1831–1879), 17–19, 23–25, 84, 89, 95–97, 99–105, 132, 151–154, 156, 158, 159, 162, 175, 239, 241, 312, 317, 322, 329, 331, 333, 343, 345, 350, 351, 354, 356, 358, 363, 372, 373, 421, 424, 589, 620
Mayer, Julius Robert (1814–1878), 242, 284
Megaw, Eric C.S. (1908–1956), 589, 590
Meißner, Alexander (1883–1958), 456
Melloni, Macedonio (1798–1854), 188
Mendelssohn, Felix Bartholdy (1809–1847), 20
Meyer, Erwin (1899–1972), 541
Meyer, Konrad (*1900), 586, 588, 594
Mezger, Peter G. (*1928), 515
Middendorf, Alwine → Lange, Alwine, 277
Miessner, Benjamin Franklin (1890–1976), 387, 394, 547, 548, 556, 557
Milankovitch [Milanković], Milutin (1879–1958), 300, 302, 308
Miller, Ferdinand Freiherr von (1842–1929), 262

Miller, Oskar von (1855–1934), 262, 263
Minding, Ferdinand (1806–1865), 207
Minkowski, Hermann (1864–1909), 105, 237, 312
Minnaert, Marcel (1893–1970), 484–486
Mohn, H. (1835–1916), 298, 299
Monk, Meredith (*1942), 536
Moog, Robert (1934–2005), 535
More, Henry (1614–1687), 327–329
Morgan, John Pierpont (1837–1913), 390, 395
Morse, Samuel Finley Breese (1791–1872), 355, 362, 400, 425
Moss, David (*1949), 536
Muller, Christiaan Alexander [Lex] (1923–2004), 468, 492–494, 499
Muntendam, Rebecca Wilhelmina → Berlage, Rebecca Wilhelmina, 468

N

Nahrath, Max (1. Hälfte 20. Jh.), 551
Napoleon I. [emperor 1804 to 1814] (1769–1821), 422
Neeff, Christian Ernst (1782–1849), 182, 183, 188, 194
Nernst, Walther (1864–1941), 539, 542, 553
Neuhoff, O. (fl. 1900), 292, 299, 308
Neumann, Franz Ernst (1798–1895), 23, 96, 151, 152, 158, 171, 173, 175
Neumayer, Georg (1826–1909), 286
Neve, P. (mid-20th century), 493
Newton, Isaac (1642–1726 a.St./1643–1727), 56, 60–62, 64, 68, 70, 71, 75, 76, 84, 86, 87, 90, 127, 206, 214, 218, 219, 221, 223, 236, 237, 247, 249, 289, 311, 316, 317, 325–329, 643
Nollet, l'Anné Jean Antoine (1700–1770), 137, 138, 141, 143, 149
Nordmann, Charles E. (fl. 1900), 504

O

Oberbeck, Anton (1846–1900), 285–287, 292, 393
Ørsted, Hans Christian (1777–1851), 152, 153, 158, 159, 424
Oettingen, Arthur Joachim von (1836–1920), 71, 177
Ohm, Georg Simon (1789–1854), 367
Okabe, Kinjirô (1896–1984), 589
Oort, Jan Hendrik (1900–1992), 27, 466–468, 484–486, 490–494, 499
Oppenheim, Betty → Hertz, Betty, 255
Osborne, Harold (2nd half of 20th century), 600–602, 613
Ostwald, Wilhelm (1853–1932), 223, 242, 247, 249

P

Page, Charles G. (1812–1868), 184, 188, 192, 194
Papalexi, Nikolaus (1880–1947), 25, 350, 352, 357, 360, 364, 365, 367–371, 375
Parcells, Elizabeth (1951–2005), 535
Pascal, Blaise (1623–1662), 71
Paul, Johann [Richter] (1763–1825), 145
Péclet, Jean Claude Eugene (1793–1857), 284, 290, 291, 309
Peslin, Pierre Charles (1847–1927), 284, 291
Petrovski, Aleksei Alekseevich (1873–1942), 372, 375
Pfefferkorn, Anna Elisabeth → Hertz, Anna Elisabeth, 281
Pickard, Greenleaf Whittier (1877–1956), 367
Pieter van Musschenbroek (1692–1761), 139
Pilâtre de Rozier, Jean-François (1754–1785), 146, 149
Pintsch, Julius (1815–1884), 589
Pirani, Marcello (1880–1968), 583, 585, 597
Planck, Max (1858–1947), 27, 156, 158, 264, 265, 275, 285, 301, 312
Platon (427–347 v.Chr.), 70, 71

Plaut, Hubert Curt (1889–1978), 585, 595
Poincaré, Henri (1854–1912), 209, 221, 230
Poisson, Siméon-Denis (1781–1840), 282, 284, 289, 290, 309, 318
Popoff, Alexander Stepanowitsch → Popow, Alexander Stepanowitsch
Popov, Alexander Stepanowitsch → Popow, Alexander Stepanowitsch
Popow, Alexander Stepanowitsch (1859–1905), 349, 350, 357–362, 364, 372, 383, 393, 421, 425, 440
Poske, Friedrich (1852–1925), 244, 249
Post, Emil Leon (1897–1954), 78
Pouillet, Claude Servais Mathias (1791–1868), 191, 194, 284, 301
Poulsen, Valdemar (1869–1942), 428, 441, 451
Priester, Wolfgang (1924–2005), 506, 515
Priestley, Joseph (1733–1804), 646
Ptolemaios, Klaudios (∼100–nach 160 n.Chr.), 518, 519
Pythagoras (∼582/570–∼507/496 v.Chr.), 518

Q

R

Ramsauer, Carl (1879–1955), 262
Ramsey, Frank Plumpton (1903–1930), 91, 113
Ranevskaya-Dugina, Zoia (2. Hälfte 20. Jh.), 534
Rankine, William John Macquorn (1820–1872), 289
Rathenau, Emil (1838–1915), 419, 432
Reber, Grote (1911–2002), 484, 500, 504, 514
Reidemeister, Kurt (1893–1971), 594
Reinhold [Dr.] (1. Hälfte 20. Jh.), 551
Reisenberg, Clara → Clara Rockmore, 532
Reye, Karl Theodor (1838–1919), 284, 291
Ribright, Thomas (fl. 2nd half of 19th century), 142, 149
Richardson, Owen Willans (1879–1959), 567
Richter de Vroe, Nicolaus (*1965), 536
Richter, Johann Paul Friedrich → Paul, Johann, 145
Riecke, Eduard (1845–1915), 151, 155–157, 159
Riemann, Bernhard (1826–1866), 63, 64, 204, 205, 207, 208
Riess, Peter (1. Hälfte 19. Jahrhundert), 353, 354
Riesser, Gabriel (1806–1863), 255
Righi, Augusto (1850–1920), 349, 350, 355, 357, 383, 398
Rive, Lucien de la → La Rive, Lucien de, 24
Robbins, Herbert (1915–2001), 595
Rockmore, Clara, born Reisenberg (1911–1998), 532, 537
Roebber, E. (1st half of 19th century), 282, 284, 290, 309
Römkorff, Friedrich Gottlieb (fl. 1800), 187
Römkorff, Sophie, geb. Kuckuck (fl. 1800), 187
Rózsa, Miklós (1907–1995), 534
Röntgen, Wilhelm Conrad (1845–1923), 195, 541, 564, 565, 567, 574
Rogowski, Walter (1881–1947), 367
Roosevelt, Theodore [26. Präsident der USA 1901 bis 1909] (1858–1919), 415
Rose, Wilhelm Otto (1882–1952), 280
Rosen, Walter T. (1. Hälfte 20. Jahrhundert), 532
Rothe, Horst (1899–1975), 588, 592, 593, 597
Rühmkorff, Heinrich Daniel (1803–1877), 24, 180–195, 621
Rukop, Hans (1883–1958), 575

Runge, Aimée Luise (*1903), 583
Runge, Aimée, geb. Bois-Reymond (1862–1941), 583, 596
Runge, Bernhard Emile (1897–1914), 583
Runge, Carl (1856–1927), 583, 584, 597, 598
Runge, Ella (1889–1945), 583
Runge, Iris (1888–1966), 26, 576–578, 581–599
Runge, Nina → Courant, Nerina [Nina], 583
Runge, Wilhelm T. (1895–1987), 583, 584, 599
Russell, Bertrand, 3. Earl (1872–1970), 73, 78, 111–113, 130, 228
Russell, Henry Norris (1877–1957), 523

S

Saint-Saëns, Camille (1835–1921), 534, 550
Sala, Oskar (1910–2002), 534, 541, 544, 548, 551, 555
Salinger, Hans (*1891), 541
Saraga, Wolja (1908–1990), 549, 550
Sarasin, Emile Édouard (1843–1917), 24, 331, 333–337, 339–345
Sarton, George (1884–1976), 584
Scheiner, Julius (1858–1913), 504
Scheller, Otto (fl. 1907), 456
Scherff, George (fl. 1900), 388
Schillinger, Joseph (1895–1943), 535
Schimank, Hans (1888–1979), 653
Schlick, Moritz (1882–1936), 91
Schöne [Schönchen] → Hertz [Schönchen], 255
Schopenhauer, Arthur (1788–1860), 73, 74, 228
Schotanus → Idzerda, H.H. Schotanus, 26
Schott, E. (middle of 20th century), 505
Schottky, Friedrich (1851–1935), 580
Schottky, Walter (1886–1976), 567, 580, 598
Schrödinger, Erwin (1887–1961), 520
Schünemann, Georg (1884–1945), 541, 543
Schütz, Wilhelm (1900–1972), 262
Schultze, Fritz (1846–1908), 212
Schulze, Franz (fl. 1916), 459
Schumacher, Fritz (1869–1947), 280
Schwarzschild, Karl (1873–1916), 290
Scipio Africanus, Publius Cornelius (236–183 v.Chr.), 422
Seeley [Chief Examiner] (fl. 1898), 387
Senfft, Carl Johannes (1858–1927), 423, 424, 434, 440, 441
Senftleben, Hermann (1890–1975), 262
Sennheiser, Fritz (*1912), 561
Sewig, Rudolf (1904–1972), 586, 588, 598
Shannon, Claude E. (1916–2001), 592
Shaw, Napier (1854–1945), 292
Shewhart, Walter Andrew (1891–1967), 585, 592, 595
Siemens, Arnold von (1853–1918), 432, 439
Siemers, Edmund (1840–1918), 263
Slaby, Adolf Karl Heinrich (1849–1913), 350, 358, 360, 362, 393, 408–413, 415–419, 427, 428, 430, 431, 440, 450, 451, 454, 461
Sommerfeld, Arnold (1868–1951), 105, 151, 157, 159, 263, 584, 595, 598
Spee Maximilian Graf von (1861–1914), 437
Spengler, Oswald (1880–1936), 73, 228
Sraffa, Piero (1898–1983), 73, 228
Stark, Johannes (1874–1957), 266, 273
Statz, Willy (1892–1960), 586
Stefan, Josef (1835–1893), 301
Stegmüller, Wolfgang (1923–1991), 72, 125
Steiner, Max (1888–1971), 534
Steinke, Eduard (1899–1963), 262
Steringa → Idzerda, Hanso Henricus, 406
Stewart, Balfour (1828–1887), 300
Stöhrer, Emil (1813–1890), 188
Stoletov, Aleksandr Grigorievich (1839–1896), 370
Stollwerck, Ludwig (1857–1922), 412

Stone, John S. (1869–1943), 358, 377, 383
Strecker, Karl Georg Christian Bernhard (1858–1934), 164–166, 168, 171, 173, 174
Stüve, Georg (1888–1935), 292, 299, 309
Stumpers, F. Louis H.M. (1911–2003), 486, 493
Sujovolsky [Frau] (1. Hälfte 20. Jh.), 551
Suppes, Patrick (*1922), 124

T

Tait, Peter Guthrie (1831–1901), 50, 300
Tammann, Gustav (1861–1938), 584, 598
Tamminga van Eysinga, Cornelis (1865–1928), 496
Tamminga van Eysinga, Elly (*1899), 496
Taubmann, Martin (1. Hälfte 20. Jh.), 551
Termen, Lev Sergeyevich → Theremin, Leon
Tesla, Nikola (1856–1943), 25, 195, 376–385, 387–395, 399, 624
Theremin, Leon (1896–1993), 530–535, 544, 548, 549, 551, 552, 555, 626
Thomson, Joseph John (1856–1940), 23, 151, 156, 265
Thomson, William [Lord Kelvin] (1824–1907), 50, 170, 173–175, 205, 284, 290, 291, 300, 303, 305, 315, 379
Thorp, Walter (fl. 1900), 334–336, 342, 343, 345
Tirpitz, Alfred von (1849–1930), 413, 414, 419
Tosi, Alessandro (1866–1936), 456, 457
Trautwein, Friedrich (1888–1956), 541–544, 558
Trefftz, Erich (1888–1937), 584
Trouton, Frederick Thomas (1863–1922), 333–335, 343, 345
Tschaikowsky, Pjotr Iljitsch (1840–1893), 20, 534
Tscharikoff → Tscharikow
Tscharikow, Kristy (1. Hälfte 20. Jh.), 551
Tyndall, John (1820–1893), 50

U

Unsöld, Albrecht (1905–1995), 234, 243, 249

V

Varèse, Edgard (1883–1965), 532
Veder, Anthony (1914–1967), 476–479, 493, 494
Veldkamp, Jan (1909–1994), 486
Verne, Jules (1828–1905), 20, 182, 183, 187, 189, 195
Vierling, Oskar (1904–1986), 26, 539, 540, 542–549, 551–561
Voigt, Woldemar (1850–1919), 155, 241
Volta, Alessandro (1745–1827), 169, 189, 194
Voogt, Agatha Cornelia de, nee Boonacker (*1883), 496
Voogt, Anthonet Hugo de (1892–1969), 26, 27, 397, 400, 401, 403–405, 407, 466–501, 622
Voogt, Anthonetta de, nee Muntendam (1831–1864), 468, 494, 495
Voogt, Elisabeth de (*1894), 469, 497
Voogt, Elisabeth de, nee Doorman (*1862), 469, 495–497
Voogt, Ellis de (*1923), 496
Voogt, Gosewinus de (1832–1852), 494
Voogt, Gosewinus de (1863–1918), 468–470, 495–497
Voogt, Gosewinus de (fl. 1800), 494
Voogt, Hugo Gosewinus de (*1921), 496
Voogt, Hugoline Christine de (*1845), 468, 495
Voogt, Johanna de, nee Buddingh (1780–1853), 494
Voogt, Johanna de, nee van Linden van den Heuvel (1st half of 19th century), 494

Voogt, Johanna Elisabeth de (*1873), 495
Voogt, Johanna Jacoba de, nee van der Waal (*1886), 480, 481
Voogt, Johannes Ever[h]ardus de (1806–1863), 469, 494, 496
Voogt, Johannes Everhardus (*1926), 481
Voogt, Johannes Everhardus de (1782–1855), 494
Voogt, Johannes Gosewinus de (1889–1939), 469, 482, 496
Voogt, Karel Adriaan de (*1903), 469, 497
Voogt, Nicholas Gosewinus de (1818–1874), 494
Voogt, Wietske Barendine de, nee Tamminga van Eysinga (*1893), 496, 497
Voogt, Willem Cornelis de (*1871), 495
Voogt, Willem Jacob de (*1888), 469, 496
Voogt, Willem Jacob de (1837–1875), 468, 494, 495

W

Waal, Johanna Jacoba van der → Voogt, Johanna Jacoba de
Wagner, Johann Philipp (1799–1879), 182, 183
Wagner, Karl Willy (1883–1953), 540, 542, 554, 555
Waismann, Friedrich (1896–1959), 82, 89, 91, 93
Walcher, Wilhelm (1910–2005)), 266, 273
Waldo, Frank (*1920), 291, 294, 298, 309
Walter, Caspar Johannes (*1964), 536
Warburg, Emil (1846–1931), 258, 271
Warburg, Otto (1883–1970), 270
Weber, Wilhelm Eduard (1804–1891), 23, 151–154, 156–159, 169, 241, 317, 320, 329, 653
Wehnelt, Arthur (1871–1944), 565, 566
Weickmann, Ludwig (1882–1961), 292, 299, 309
Weininger, Otto (1880–1903), 73, 228
Welsh, John (1824–1859), 290
Weyl, Hermann (1885–1955), 105
Wiechert, Emil (1861–1928), 100, 105
Wield, Friedrich (1880–1940), 280, 281
Wien, Max (1866–1938), 428, 433, 439, 452, 589
Wien, Wilhelm (1864–1928), 301, 653
Wiener, Norbert (1894–1964), 595
Wiener, Otto (1862–1927), 258
Wilder, Billy (1906–2002), 534
Wilhelm II. [emperor 1888 to 1918] (1859–1941), 19, 26, 409–419, 427, 428, 430–432, 435, 440, 624
Wilhelmina [Queen of the Netherlands, 1890 to 1948] (1880–1962), 403, 478
Wilke, Arthur (1853–1913), 186, 195
Wilsing, Johannes (1856–1943), 504
Winckel, Fritz (1907–2000), 553
Wippermann, Karl (1800–1857), 255
Wittgenstein, Ludwig (1889–1951), 17, 25, 44, 48, 49, 51, 72–74, 76–93, 108, 109, 111–115, 128–130, 211, 212, 227–230, 619, 646, 648
Woermann, Adolph (1847–1911), 436, 459
Wolfers, Jakob Philipp (1803–1878), 249
Wolff, Christian Freiherr von (1679–1754), 327
Wolfsthal [Frl.] (1. Hälfte 20. Jh.), 551
Wright of Derby, Joseph (1734–1797), 139, 148

X

Y

Z

Zadeh, Lotfi A. (*1921), 25, 107–109, 117–123, 126, 128–131
Zeeman, Pieter (1865–1943), 229
Zehnder, Ludwig (1854–1949), 161, 166–168, 170, 174, 176
Zeller, Wolfgang (1893–1967), 560

Zenker, W. (fl. 1888), 300
Zenneck, Jonathan (1871–1959), 161, 164–166, 170–177, 262, 266, 279, 361, 367, 451, 565, 566, 575
Zitzmann-Zirini, Erich (1. Hälfte 20. Jh.), 555
Zworykin, Vladimir (1889–1982), 573