

Heinrich Hertz.

Von Hermann Ebert.

(Gedächtnisrede gehalten in der Allgemeinen Sitzung am 7. März 1894.)

Der erste Tag dieses Jahres hat uns ein Mitglied entrissen, dessen Verlust uns ganz besonders nahe berührt. Wenn nach langer Forscherlaufbahn, nach thatenreichem Leben ein Altmeister der Wissenschaft zur Ruhe geht, so beklagen wir den Verlust, aber wir fügen uns in das unerbittliche Walten der Naturgesetze. In Heinrich Hertz wurde uns ein Forscher ersten Ranges mitten in seinem Schaffen fast am Beginne des reiferen Mannesalters entrissen.

Die Trauerkunde hat die weitesten Kreise ergriffen, und so ist es wohl geziemend ihm auch an dieser Stelle einen kurzen Nachruf zu widmen.

Ueberblicken wir zunächst die Entwicklung seiner äusseren Lebensverhältnisse während der kurzen Spanne Zeit, welche ihm zu durchmessen vergönnt war¹⁾.

Heinrich Rudolf Hertz wurde am 22. Februar 1857 als ältester Sohn des damaligen Rechtsanwaltes, späteren Senators Hertz zu Hamburg geboren. Seine Mutter stammte aus Frankfurt a. M. Nachdem er bis zu seiner Konfirmation eine Bürgerschule besucht hatte, bereitete er sich in den Jahren 1873/74 im elterlichen Hause auf das Studium vor, trat Ostern 1874 in die Oberprima der Gelehrtenschule des Johanneums seiner Vaterstadt ein und verliess dieselbe Ostern 1875, also im 18. Lebensjahre, mit dem Zeugnis der Reife.

1) Die folgenden biographischen Notizen verdanke ich der Liebenswürdigkeit von Frau Professor verw. Hertz, wofür ich derselben auch an dieser Stelle meinen wärmsten Dank aussprechen möchte.

Schon als Knabe entwickelte er neben grossen Geistesanlagen ein starkes Pflichtgefühl und ein ungewöhnlich reges Interesse an den exakten Wissenschaften.

Als zwölfjähriger Schüler besuchte er Sonntags die Gewerbeschule, um sich im geometrischen Zeichnen zu üben.

Neben den Schulfächern übte er eifrigst seine mechanischen Fertigkeiten und machte die gerade für den Physiker so wichtige praktische Schulung an der Hobel- und Drechselbank durch; sein Handgeschick liess ihn trotz der einfachsten Hilfsmittel ganz brauchbare Instrumente fertigen; so baute er sich einmal einen Spektralapparat u. a. m.

Als er das Gymnasium verlassen hatte, trat die Aufgabe an ihn heran, einen Beruf zu wählen. Der Wunsch, Nützlich und Dauerndes zu schaffen und die ihm angeborene übergrosse Bescheidenheit, welche ihn damals noch vollkommen daran zweifeln liess, auf rein wissenschaftlichem Gebiete jemals Befriedigendes leisten zu können, ausserdem wohl die frühgeweckte Freude an praktischer Bethätigung seiner Kräfte, liess ihn sich dem Ingenieurfache und zwar dem Baufache zuwenden. Zur Vorbereitung auf diesen Beruf arbeitete er während des Jahres 1875/76 als Volontär in dem städtischen Bauamte in Frankfurt a. M., eine Vorbereitung, die damals noch bei dem Baufache verlangt wurde. Hierauf ging er nach Dresden für das Sommersemester 1876 an die Technische Hochschule. Von Oktober 1876—77 erfuhren seine Studien eine Unterbrechung durch die Ableistung der einjährigen Militärdienstpflicht, der er im Eisenbahnregimente zu Berlin genügte. Im Herbst 1877 ging er nach München. Hier vollzog sich der bedeutsame Umschwung in Hertz, der ihn aus einem Manne der Praxis zu einem Gelehrten werden liess. Er erkannte, dass seine Natur nur in der Beschäftigung mit der Wissenschaft volles Genügen finden könne, und er wandte sich hier in München speziell der Mathematik und Physik zu.

Schon nach einem Jahre, im Herbst 1878, siedelte er an die Universität Berlin über, wo er in das v. Helmholtz'sche Laboratorium eintrat. Seine Ausbildung vollzog sich ungewöhnlich rasch. Schon 1879 löste er eine von der philosophischen Fakultät gestellte Preisarbeit über die in Spiralen und Drähten induzierten Extrastrome, eine Arbeit, die experimentell wie theoretisch nicht leicht war; 1880 promovierte er, und im gleichen Jahre schon erwählte

ihn v. Helmholtz zu seinem Assistenten im physikalischen Institute, also nur drei Jahre, nachdem er sich überhaupt dem Studium der Physik zugewandt hatte.

Ostern 1883, also im 26. Lebensjahre, habilitierte er sich auf Rat von v. Helmholtz in Kiel und erhielt zugleich einen Lehrauftrag für theoretische Physik von Seiten des Preussischen Unterrichtsministeriums. Ostern 1885, 28 Jahre alt, erhielt er einen Ruf als ordentlicher Professor der Physik an die Technische Hochschule zu Karlsruhe. Hier sind seine bahnbrechenden experimentellen Arbeiten entstanden. 1886 verheiratete er sich mit Elisabeth Doll, der Tochter des Professors der Geodäsie an derselben Hochschule.

Als im Jahre 1889 der Tod den Begründer der mechanischen Wärmetheorie Clausius in Bonn hinwegraffte, trug man kein Bedenken, den damals erst 32 Jahre zählenden Hertz durch die Nachfolgerschaft eines Clausius zu ehren; Ostern 1889 wurde er nach Bonn berufen.

Hier in gesicherter, ehrenvoller Lebensstellung angelangt, geehrt und bewundert im In- und Auslande, in einem Alter, in dem gewöhnlich die Schaffenskraft sich erst voll entfaltet, meldete sich schon sehr bald der heimtückische Feind, der der bisher so glänzenden Laufbahn ein so tragisches Ende bereiten sollte. Schon seit Mitte des Jahres 1892 begann eine vielleicht von einer Eiterung in der Kieferhöhle ausgehende chronische Blutvergiftung seine frühere, treffliche Gesundheit zu untergraben. Die akute Gefahr, die im November 1892 eintrat, wurde durch eine glückliche Operation beseitigt und er konnte während des Sommersemesters 1893, ja bis zum 7. Dezember desselben Jahres, also bis kurz vor seinem Hinscheiden, die Vorlesungen abhalten, wenn auch zuletzt nur mit grosser Anstrengung. Dann aber äusserte die Krankheit in wenig Wochen ihre tödliche Wirkung; am ersten Januar dieses Jahres starb Heinrich Hertz im 37. Lebensjahre. Was er gelitten hat, war nach den Angaben der ihm nahe gestandenen, vor allem seiner Gemahlin, welche ihn bis zuletzt treulichst pflegte, unaussprechlich. Mit ihm starb nicht nur ein grosser Gelehrter, sondern auch ein edler Mensch, der das seltene Glück gehabt hat, viele Bewunderer, aber keinen Feind und Neider zu haben; wer ihm persönlich näher trat, war entzückt von seiner Bescheidenheit und hingerissen von seiner Liebenswürdigkeit; er war ein treuer

Freund seinen Freunden, ein geliebter Lehrer seinen Schülern, die sich, zum Teil weit herkommend, schon in grösserer Anzahl um ihn zu sammeln begannen, ein liebevoller Gatte und Vater den Seinigen.

Einfach und schlicht ist der äussere Lebensgang von Heinrich Hertz gewesen. Welche Welt thut sich uns aber auf, wenn wir das wissenschaftliche Leben betrachten, welches sich in jenem zeitlich so eng begrenzten Rahmen abspielt. Dasselbe in gedrängten Zügen in seiner Entwicklung zu schildern, soll die Aufgabe der folgenden Seiten sein.

Gewöhnlich spricht man nur von den späteren epochemachenden Arbeiten; sie sind es, welche allein in weiteren Kreisen bekannt geworden sind. Aber es ist sehr lehrreich, wieder einmal auf die älteren Arbeiten von dem durch die neueren eroberten höheren Standpunkte aus zurückzublicken. Ferner erkennt man, wie sich die späteren, das ganze Gebiet umgestaltenden Arbeiten organisch aus ihnen entwickelt haben; sie stellen zum Teil gewissermassen Vorstufen für die späteren Versuchsreihen dar, denn Hertz kam nicht durch Zufall auf seine Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft; es waren weit angelegte und planvoll verfolgte Gedankenreihen, welche durch jene Untersuchungen gekrönt wurden, wenn auch der günstige Zufall manches förderliche Hilfsmittel an die Hand gab, welches das Ziel schneller erreichen liess. Ich will mich auf die elektrischen Arbeiten allein beschränken und die Arbeiten Hertz' über die Verdunstung der Flüssigkeiten, insbesondere des Quecksilbers im luftleeren Raume, über den Druck des gesättigten Quecksilberdampfes, seine meteorologischen Untersuchungen, seine Untersuchungen in dem Gebiete der Elastizitäts- und Festigkeitslehre hier nur erwähnen; sie zeigen die Vielseitigkeit seiner Forschungen.

Seine wissenschaftliche Thätigkeit beginnt, wie erwähnt, mit der Lösung einer Preisaufgabe.

Von der philosophischen Fakultät der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin war den Studierenden für das Jahr 1879 die Aufgabe gestellt worden, über die Intensität der elektrischen Extraströme Versuche anzustellen. Das Problem, welches durch

sie der Lösung näher gebracht werden sollte, war ein altes und für die älteren Theorien der elektrischen Erscheinungen sehr wichtiges. Diese Theorien gingen von der Hypothese eines in den stromführenden Leitern bewegten Fluidums, der Elektrizität, aus. Lag den elektrischen Erscheinungen wirklich etwas Stoffliches zu Grunde, so musste dieses hypothetische Etwas eine Masse, wenn auch eine sehr geringe, besitzen. Hatte es eine Masse, so musste es bewegenden, d. h. „elektromotorischen Kräften“ gegenüber eine Trägheit besitzen und musste, einmal in Bewegung gesetzt, vermöge seiner Masse und Geschwindigkeit einen gewissen Vorrat von kinetischer Energie enthalten. Diese kinetische Energie musste sich nachweisen lassen, wenn man etwa in einer Spirale den Strom abwechselnd rasch öffnete und schloss; dann treten in der Spirale in Folge der induzierten Wechselwirkung der einzelnen Teile aufeinander die „Extraströme“ auf, in deren Energie sich jene der bewegten elektrischen Massen wiederfinden musste. Eine genaue numerische Bestimmung dieser Grösse und damit der Quantität elektrischen Fluidums etwa in einem Kubikmillimeter eines stromführenden Drahtes durfte man freilich bei der Schwierigkeit der anzustellenden Messungen von vornherein nicht erwarten; man musste sich damit begnügen, eine obere Grenze für jene Energiemenge aufzusuchen, also die Frage zu beantworten: wie gross kann diese Energiemenge höchstens sein?

Dieser Aufgabe ist die erste grössere Experimentaluntersuchung von Hertz gewidmet. Sie erschien unter dem Titel: „Versuche zur Feststellung einer oberen Grenze für die kinetische Energie der elektrischen Strömung“. Das Ergebnis der Versuche war ein negatives: Da die gefundene obere Grenze immer tiefer herabsank, je genauer die Versuche ausgeführt wurden, so musste man schliessen, die gesuchte Quantität würde sich schliesslich auf Null reduzieren, wenn es gelänge, der Beobachtungsfehler völlig Herr zu werden. Aber es war gewiss für Hertz bedeutungsvoll, dass er sich schon bei seiner ersten Arbeit auf elektrischem Gebiete davon überzeugte, dass die Vorstellungen von der Substantialität der sog. „Elektrizität“ unzureichend sind und dass das zu Grunde gelegte Fluidum sich in dem Grade verflüchtigte, wie man ihm mit verschärften Beobachtungsmitteln auf die Spur zu kommen suchte.

Schon diese erste Arbeit des 22 Jahre alten Forschers verrät

grosses experimentelles Geschick. Hier übt er sich in dem Umgang mit lang ausgespannten Drähten, grossen Drahtrechtecken, die er in dem Bodenraum des Laboratoriums ausspannt, Anordnungen, die später sein meisterhaft gebrauchtes Handwerkszeug werden sollten. Besonders sinnreich ist die Einrichtung eines Kommutators, der bei einfacher Drehung eine Menge von Ein-, Aus- und Umschaltungen eines komplizierten Systems von Leitungen selbstthätig und in gesetzmässiger Reihenfolge besorgt. Dass Hertz schon damals auch das wichtige Hilfsmittel der mathematischen Theorie beherrschte, zeigt er bei der Berechnung der Wirkung der einzelnen Spiralwindungen und Windungslagen aufeinander, bei der Berechnung des Selbstpotentialen seiner Spiralen.

Hertz ist auf dasselbe Thema ein Jahr später nochmals zurückgekommen („Obere Grenze für die kinetische Energie der bewegten Elektrizität“). Er wendete dabei eine weit direktere und empfindlichere, dabei auch theoretisch einwurfsfreiere Methode an. Eine sehr dünne, auf Glas chemisch niedergeschlagene Silberschicht wurde von einem starken Strome in einer Richtung durchströmt; die Stromdichte, d. h. nach der alten Vorstellung die in einem Kubikmillimeter des Silbers bewegte Elektrizitätsmenge war hierbei möglichst gross. War das Bewegte nur den stromantreibenden Kräften der erregenden galvanischen Kette unterworfen, so wurde die Platte symmetrisch zu der Zu- und Ableitungsstelle durchströmt; liess man also in einer zu ihrer Verbindungslinie senkrechten Richtung zwei Drähte an der Platte enden, welche zu einem empfindlichen Galvanometer führten, so konnte durch diese Transversalleitung kein Strom abfliessen. Die Platte wurde nun auf einem Rotationsapparat senkrecht zu dessen Axe befestigt und um ihren Mittelpunkt in ihrer Ebene rasch herumdreht. Wenn der strömenden Elektrizität irgend etwas zu eigen war, was man eine Trägheit nennen könnte, so mussten die Strömungen bei der Rotation in ganz ähnlicher Weise von ihrer ursprünglichen Richtung abweichen, wie die vom Aequator nach den Polen abfliessenden Luftströmungen des rotierenden Erdkörpers von der Süd-Nordrichtung abweichen und die schräg gegen die Meridiane verlaufenden Passatwinde erzeugen. Dann musste ein Teil der Strömung sich auch gegen die Transversalleitung wenden. Hier musste ein, wenn auch schwacher Strom sich bemerkbar machen. Zahlreiche Fehlerquellen, Thermostrome an den schon durch den

Luftzug verschieden erwärmten Kontaktstellen, Spannungen in der rotierenden Platte in Folge der Centrifugalkräfte u. s. w. treten hierbei natürlich auf und verschleiern das gesuchte Ergebnis zum Teil. Aber Hertz wusste durch eine geschickte Kombination von Einzelversuchen bei abgeänderten Versuchsbedingungen diese Fehlerquellen auf ein Minimum herabzudrücken. Trotzdem zeigten die 320 angestellten Einzelbeobachtungen keine positive Wirkung; der dadurch bestimmte Grenzwert zeigt, dass die kinetische Energie einer elektrischen Strömung von der (elektromagnetisch gemessenen) Dichte 1 in einem Kubikmillimeter eines silbernen Leiters noch nicht so gross ist, als wenn sich die Masse von $1/50000$ Milligramm mit der Geschwindigkeit eines Millimeters pro Sekunde fortbewegt. Am Schlusse der genannten Abhandlung deutet er auf die Möglichkeit hin, bei Elektrolyten positive Resultate zu erhalten, wo die Elektrizitätsmengen ja an körperliche Träger, die Ionen, geheftet sich mit diesen fortbewegen. In der That haben neuere Versuche diese Vermutung von Hertz bestätigt und z. B. in den Händen von Colley und Descoudres zu den erwarteten Resultaten geführt. Hier ist es aber nicht die Trägheit der Elektrizität selbst, sondern die ihrer materiellen Träger, welche die Erscheinungen bedingen.

Seine Doktordissertation vom Jahre 1880 behandelt die Induktion in rotierenden leitenden Kugeln oder Hohlkugeln zwischen Magneten vom Standpunkte der Neumann'schen Theorie aus.

Schon 1881 sehen wir ihn Fälle der elektrischen Ausgleichungen untersuchen, welche den alten Theorien ferner lagen. Eine interessante Arbeit, welche hieher gehört, ist die „Ueber die Vertheilung der Elektrizität auf der Oberfläche bewegter Leiter“. Die Fernwirkungstheorie zeigt, dass bei jedem in Ruhe befindlichen elektrisch geladenen Körper die Elektrizität sich ganz auf der äusseren Oberfläche befindet, dass also bei einem Hohlkörper die innere Fläche frei von jeder Spur des hypothetischen Fluidums ist und dass im ganzen Leiterkörper nirgends Verschiedenheiten des elektrischen Potentials bestehen, dass dieses vielmehr einen allenthalben im Inneren der Metallmasse konstanten Wert besitzt. Hertz fragt sich nun, was eintritt, wenn so geladene Leiter gegeneinander bewegt werden? Die Vertheilung der Elektrizität auf der Oberfläche muss in jedem Augenblick eine andere sein als auf der Oberfläche ruhender Leiter, selbst wenn diese genau an

dieselbe Stelle des Raumes gebracht würden, den im betreffenden Moment der bewegte Leiter inne hat; ferner ist das Potential weder an der Oberfläche noch im Inneren mehr konstant und während ein ruhender metallischer Hohlkörper seinen Innenraum vor elektrischen Kraftwirkungen völlig schirmt, so kann dies bei einem bewegten Körper nicht mehr der Fall sein. Es treten Strömungen im Inneren ein, damit Wärmeentwicklung und scheinbare Energieverluste; die kontinuierliche Bewegung geladener Leiter gegeneinander ist also nur möglich bei Zuführung äusserer Arbeit.

Hertz entwickelt mit grosser Geschicklichkeit die für diese Fälle geltenden Formeln; dabei sind die Formeln der gewöhnlichen Elektrostatik geeignet zu erweitern. Die allgemeinen Schlüsse wendet er auf die besonders wichtigen Fälle der um eine Axe mit konstanter Geschwindigkeit in einem elektrischen Felde rotierenden Rotationskörper an, insbesondere auf rotierende Voll- und Hohlkugeln und Voll- und Hohlzylinder. In diesen bilden sich selbst im „homogenen“ Felde elektrische Strömungen aus, welche durch die Rotationsbewegung in eigentümlicher Weise abgelenkt werden, Kraftwirkungen dringen durch den Metallkörper in das Innere, dasselbe wird also nicht mehr vollkommen geschirmt u. s. w. Hertz stellt hierüber auch einen Versuch an: Ueber einer horizontalen nur mässig gut leitenden Platte aus Glas schwingt an einem Metalldrahte eine mit horizontalen Metallplatten an den Enden versehene Nadel. Sowie diese geladen wird, also die Platten zu elektrischen Polen werden, zeigt sich die Schwingung stark gedämpft. Die Erscheinung ist analog der Dämpfung einer schwingenden Magnetnadel, welche in einer sie umgebenden Kupferhülle ihrer Bewegung entgegenwirkende Induktionsströme wachruft. In dieser Arbeit kommt schon folgende bedeutungsvolle Stelle vor: „Wird ein elektrischer Pol über eine ebene Platte in gleichbleibendem Abstände hingeführt, so folgt ihm die einmal erregte Elektrisierung, und die nächstliegende und auch wohl übliche Anschauung ist die, dass die materiell gedachte Elektrizität das Folgende sei, welche Annahme wir aber verwerfen.“ Hier sehen wir Hertz sich bereits loslösen von den „üblichen Anschauungen.“

Im Jahre 1883 lenkt er seine Aufmerksamkeit einer Gruppe von Erscheinungen zu, welche ihn dauernd interessierte, den elektrischen Gasentladungen. In seiner ersten Arbeit auf diesem Gebiete:

„Ueber eine die elektrische Entladung begleitende Erscheinung“ beschreibt er eigentümliche leuchtende Strahlen und wolken- oder baumartige Gebilde, welche auftreten, wenn man die Entladungen eines Induktoriums in nicht zu stark verdünnten Gasen aus einer Röhre austreten lässt; die positive Elektrode befindet sich in der Seele des Rohres, die negative in der Nähe der Mündung. Die Versuche sind ausserordentlich variiert und die nur 8 Seiten lange Arbeit ist reich an Detail.

In das gleiche Jahr fallen die „Versuche über die Glimmentladung“; sie wurden noch in Berlin ausgeführt, sind aber schon aus Kiel datiert. Von den drei Hilfsmitteln, welche bis dahin zur Erzeugung und dem Studium der elektrischen Entladungserscheinungen, wie sie sich in verdünnten Gasräumen ausbilden, verwendet wurden, der Influenzmaschine, dem Induktorium und grossen galvanischen Ketten von hoher Spannung, verwendet Hertz das dritte. Er baute sich eine Batterie von 1000 Bleiplattenelementen, eine Akkumulatorenbatterie, welche ihm eine Spannungsdifferenz zur Verfügung stellte, die derjenigen von 1800 hintereinander geschalteten Daniell'schen Elementen gleichkam. Der von ihr gelieferte hochgespannte Strom wurde vermittelt Elektroden verschieden gestalteten Entladungsgefässen zugeführt. Hertz lenkte seine Aufmerksamkeit besonders denjenigen Lichterscheinungen zu, welche bei hoher Evakuierung an der Kathode auftreten.

Hier sind es die Glimmlichtstrahlen und die ihnen gewiss verwandten sog. Kathodenstrahlen, über welche die Hertz'sche Untersuchung viele wichtige Daten zu Tage gefördert hat, ohne dass es ihm freilich vergönnt war, den Schleier vollkommen zu lüften. Es scheint, dass dieses überhaupt erst als möglich zu betrachten ist von den erweiterten Gesichtspunkten aus, welche die späteren Hertz'schen Untersuchungen eröffneten, nämlich von dem Standpunkte der Lehre von den elektrischen Schwingungen und elektrischen Wellen aus. Schon hier ist freilich gelegentlich von elektrischen Wellen die Rede, sogar von elektrischen Bewegungen, die sich wellenartig in einem Medium ausbreiten, aber die Vorstellungen sind noch nicht so abgeklärt, wie sie durch die späteren, schlagenden Versuche wurden.

Der erste Teil der Arbeit ist einer alten, vielumstrittenen Frage gewidmet: Sind die Entladungen durch ein verdünntes Gas

hindurch kontinuierlich oder diskontinuierlich? Sind sie insbesondere noch diskontinuierlich, wenn wir, wie es hier geschah, einen anscheinend kontinuierlichen Batteriestrom dem Gase zuführen?

Hertz versucht durch sinnreiche Anordnungen nachzuweisen, dass seine Entladungen kontinuierliche sind. Prüft man indessen die beigebrachten Argumente, so sieht man, dass sie nur zeigen können, dass die Zahl der einzelnen Entladungsstösse in der Sekunde nicht unter einer gewissen Grenze liegen können. Ob Intermittenzen von sehr grosser Zahl vorkommen oder nicht, darüber konnten die verwendeten Hilfsmittel nicht mit Sicherheit entscheiden, worüber sich auch Hertz selbst ganz klar war. Treten wir an die Erscheinungen mit der Vorstellung von Oszillationen heran, wofür schon die Abtheilung der Lichtsäule in einzelne Schichten spricht, welche der Erscheinung die grösste Aehnlichkeit mit einem Interferenzphänomen eines periodisch veränderlichen Vorganges verleiht, so würde einem Schichtenabstand von 1,5 cm, wie er leicht hergestellt werden kann, eine Wellenlänge von 3 cm entsprechen. Durch die späteren Hertz'schen Versuche wissen wir, dass hierzu ein elektrischer Vorgang gehört, der in der Sekunde 10000 Millionen mal hin und her geht. Solche Intermittenzen waren durch die genannten Hilfsmittel nicht mehr nachweisbar, weil elektrische Vorgänge von solcher Wechselzahl gar nicht mehr den gewohnten Gesetzen der elektrischen Strömung gehorchen, wie ebenfalls erst durch Hertz's spätere Versuche gezeigt worden ist. Ein Eingehen auf Einzelheiten muss ich mir an dieser Stelle versagen. Gerade als ob ihn seine Beweisführung in diesem Punkte selbst nicht recht befriedigt hätte, deutet er am Schlusse des genannten Abschnittes die vermittelnde Anschauung an, wonach der Elektrizitätsausgleich durch das Gas hindurch als Ganzes zwar kontinuierlich sei, dass sich im Rohre selbst aber über den gleichförmig abfliessenden Strom Elektrizitätsbewegungen von oszillatorischer Art lagern könnten, eine Anschauung, welche durch neuere Untersuchungen mehr und mehr an Wahrscheinlichkeit gewinnt.

Weiter untersucht er die sehr wichtige Frage nach dem Verlaufe der Stromlinien in einem von elektrischen Entladungen durchsetzten Gase. Eine notwendige Voruntersuchung hierzu war der Nachweis, dass Kathodenstrahlen einen Magneten nicht ablenken, wiewohl sie selbst von diesem eine solche Ablenkung erfahren.

Ferner ergab sich, dass die Kathodenstrahlen nicht die Bahn der Entladung darstellen, sondern durch den Entladungsverlauf wohl ausgelöst werden, im Uebrigen aber eigenen Verbreitungsgesetzen gehorchen. Hier werden auch schon Versuche über die Absorption von Kathodenstrahlen angedeutet, welche später von Philipp Lenard neben einer Reihe anderer schöner Experimente ausgeführt worden sind.

Im letzten Teile dieser Abhandlung zeigt er u. A., dass die Kathodenstrahlen keine elektrostatischen Wirkungen ausüben, dass sie also insbesondere nicht aus von der Kathode fortgeschleuderten elektrisierten Teilchen bestehen können, eine Ansicht, welche mehrfach ausgesprochen wurde und noch vielfach festgehalten wird.

Hinweisen möchte ich noch auf die hier beschriebenen Versuche, welche die eigentümliche Fähigkeit der Kathodenstrahlen betreffen, quer zu ihrer Richtung den Ausgleich von elektrischen Spannungen und damit das Zustandekommen von „Transversalentladungen“ zu vermitteln, Versuche die später von anderen Forschern weitergeführt worden sind. Diese Eigenschaft der Kathodenstrahlen erinnert an eine ganz analoge, später von Hertz entdeckte der Lichtstrahlen, namentlich der ultravioletten, welche gleichfalls diese auslösende Fähigkeit in hohem Masse besitzen.

Das Gesamtergebnis der Arbeit kann man dahin zusammenfassen, dass durch sie die auch von anderen Forschern, namentl. E. Wiedemann und Goldstein in ähnlichen Formen geäußerte Ansicht gestützt wird, dass die Kathodenstrahlen einer gewissen Form von Aetherbewegungen ihre Entstehung verdanken, welche unter den bekannten Agentien denen des Lichtes am nächsten stehen und die durch die elektrischen Vorgänge zwar ausgelöst werden, aber im Uebrigen eine selbständige Erscheinung darstellen, wie etwa das Licht, welches von einer elektrischen Lampe ausgesendet wird.

Die letzte der in Berlin ausgeführten Arbeiten handelt: „Ueber das Verhalten des Benzins als Isolator und als Rückstandsbildner“. Alle isolierenden Zwischenmittel zeigen mehr oder weniger die oft recht lästige Eigenschaft, dass sie einen Teil der auf sie wirkenden Spannungen in sich aufnehmen und zurückhalten. Aeltere Vorstellungen deuteten diesen Prozess der „Rückstandsbildung“ gelegentlich so, dass sie annahmen, die Elektrizität

wandere zum Teil von den geladenen Leiterflächen z. B. den Metallplatten eines Kondensators aus in die isolierende Zwischenschicht wirklich hinein und setze sich hier fest. Nun hatte man aber schon bemerkt, dass eine erhebliche Rückstandsbildung wesentlich geknüpft ist an eine grössere Inhomogenität des Materiales, dass z. B. homogene Krystalle dieselbe nur in sehr geringem Masse zeigen. Um hierüber weitere Aufschlüsse zu erhalten, stellte Hertz Versuche mit Flüssigkeiten an, die ja leichter vollkommen homogen zu erhalten waren, und fand in dem käuflichen Benzin ein Medium, welches hinreichend gut isolierte, um für die genannten Zwecke dienlich zu sein. Es zeigte sich zunächst, dass die Isolationsfähigkeit des Benzins stieg mit anhaltender Wirkung der elektrischen Kräfte. Als Ursache wurde eine zunehmende Befreiung von gelösten oder suspendierten Verunreinigungen erkannt; es findet also unter dem Einflusse elektrischer Ladungen eine „elektrische Reinigung“ der Flüssigkeit statt. Weiter ergab sich, dass mit dieser zunehmenden Reinigung auch die Rückstandsbildungen sich verminderten. Dieselben waren also in der That auf Inhomogenitäten zurückzuführen. Nicht ein Einwandern freier Elektrizitäten findet statt, sondern der elektrische Spannungszustand ergreift die einzelnen Fremdkörperchen, die in dem Medium eingebettet sind und versetzt sie in eine Art elektrischen Zwangszustand, den sog. „Polarisationszustand“. Dass dem wirklich so ist, zeigte Hertz, indem er die Flüssigkeit aus dem trogförmigen Kondensator, der zu diesen Versuchen gedient hatte, plötzlich abliess, oder in sie von oben her metallische mit dem Elektrometer verbundene Platten einsenkte, welche das Vorhandensein dieses Polarisationszustandes inmitten des Mediums deutlich anzeigten.

Der chronologischen Ordnung etwas vorgreifend, will ich noch kurz erwähnen eine kleine Mitteilung: „Ueber die Dimensionen des magnetischen Pols in verschiedenen Masssystemen“, in der Hertz sich an dem seiner Zeit brennenden Streite über die zu wählenden Dimensionen der elektrischen Masseinheiten, wenn auch nur ganz objektiv beteiligt. Er zeigt, dass man das sog. „elektromagnetische“ Mass nicht deshalb mehr berechtigt als das „elektrostatische“ betrachten dürfe, weil es nicht wie dieses zu Nichtübereinstimmungen zwischen Maxwell und Clausius führe, legt dar, worin die Unstimmigkeiten begründet liegen und weist nach, dass man das Verhältnis in der Uebereinstimmung bezw.

Nichtübereinstimmung der Festsetzungen von Maxwell und Clausius gerade umkehren könne, wenn man nicht vom elektrischen, sondern vom „magnetischen“ Strom ausginge.

Wir kommen nun zu der eigenartigen und reizvollen, für die Weiterentwicklung der Hertz'schen Untersuchungen jedenfalls wichtigsten theoretischen Abhandlung aus dem Jahre 1884: „Ueber die Beziehungen zwischen den Maxwell'schen elektrodynamischen Grundgleichungen und den Grundgleichungen der gegnerischen Elektrodynamik“. Ich möchte sie als die bedeutendste Leistung Hertz's auf theoretischem Gebiete bezeichnen.

Wie schon der Titel zeigt, sagt sich Hertz hier definitiv von den „üblichen“ und namentlich in Deutschland herrschenden Theorien der elektrischen Erscheinungen los, bekennt seine Gegnerschaft ihnen gegenüber und tritt offen in das Lager der Anhänger Maxwells über. Aber wie thut er dies? Nicht der Zauber, der damals noch die Maxwell'sche Theorie, namentlich den Teil, welcher die Lichterscheinungen auf magnetische und elektrische Erscheinungen zurückführte, mit einem gewissen Dunkel umhüllte, reizte ihn. Nicht die weiten Perspektiven und die Fülle neuer Probleme, zu welchen gerade diese Theorie einen erfindungsreichen Geist anregen musste, lockten ihn, nein, es war ein ernster Kampf der inneren Ueberzeugung, welcher ihm hier das Losringen von den alten, auch in ihm festgewurzelten Anschauungen gebot. Er weist zunächst nach, dass die Gleichungssysteme der alten Theorien unvollständig sind, dass in ihnen gewisse Glieder fehlen, von denen selbst der Fernwirkungstheoretiker zugestehen musste, dass ihr Fehlen ein Mangel der Formeln ist. Fügt man diese Glieder aber zu, so werden die Formeln anfangs unhandlich und schwerfällig; an Stelle geschlossener Ausdrücke treten unendliche Reihen, deren Wert zwar einem bestimmten endlichen Grenzwert zustrebt, die aber doch recht wenig der Natur gemäss erscheinen, so dass das Unbehagen bei dem Gedanken, jetzt auf dieses Formelsystem angewiesen zu sein, durch den anderen, hier einmal den wahren vollständigen Ausdruck für die Beobachtungsthatssachen zu besitzen, nur unvollkommen aufgehoben wird. Da löst Hertz aus dem schwerfälligen Formelapparat ein Gleichungssystem von grosser Klarheit und Einfachheit heraus, ein System, welches der Kenner sofort als einen Bekannten aus der Maxwell'schen Theorie begrüsst. Die notwendige

Verbesserung der alten Theorieen führt also zu der Maxwell'schen Theorie. Diese musste demnach zum Ausgangspunkte aller weiteren Fortschritte gewählt werden. Aber auch die Maxwell'schen Formeln führt Hertz schon hier in der abgeklärten Form ein, die einen so wesentlichen Fortschritt der Theorie überhaupt bezeichnen sollte. Selbst ein so freier Geist wie Maxwell konnte sich nicht ganz frei machen von den älteren Vorstellungen, daher leiden auch seine Formeln an einer gewissen Schwerfälligkeit und zeigen einen Mangel an Einfachheit, der namentlich darauf zurückzuführen ist, dass die ihnen zu Grunde liegende Idee noch nicht konsequent und klar durch sie zum Ausdruck gebracht wird, sondern noch immer Begriffe, die den älteren Systemen angehören, — „rudimentäre“ Begriffe wie sie Hertz sehr bezeichnend gelegentlich nennt, — in ihnen eine Rolle spielen. Hertz hat diese rudimentären Begriffe definitiv entfernt und dadurch den Kern der Maxwell'schen Theorie klar herausgeschält. Schon in dieser Arbeit vom Jahre 1884 tritt uns jenes System von sechs partiellen Differentialgleichungen entgegen, welches später Hertz auf dem mühevollen und vielverschlungenen Pfade der experimentellen Untersuchungen zum Führer werden sollte.

Damit hatte sich Hertz zunächst auf theoretischem Wege zu neuen Anschauungen durchgerungen.

Mit dieser theoretischen Erkenntnis war ihm seine Lebensaufgabe gestellt. Es musste sich jetzt darum handeln, die Ueberlegenheit der Maxwell'schen Theorie und alle damit in Zusammenhang stehenden umgestaltenden Folgerungen auch experimentell zu erproben.

Dass die Aufgabe, den richtigen Weg zu finden, selbst für einen Hertz keine kleine war, sehen wir schon daran, dass es drei Jahre dauerte, bis wir ihn nur mit dem geeigneten Werkzeug ausgerüstet sehen.

Eine der wichtigsten Konsequenzen der Maxwell'schen Theorie war die, dass Störungen des elektrischen Gleichgewichtes, an irgend einer Stelle herbeigeführt, sich wellenartig mit endlicher Geschwindigkeit und zwar mit der des Lichtes durch den Raum stetig verbreiten mussten. Hier war also offenbar der Hebel anzusetzen. Sollte diese Fortpflanzung in den Räumen eines Laboratoriums verfolgbar werden, so mussten die Störungen rasch,

sollte eine klare Erscheinung entstehen, so mussten sie ausserdem regelmässig aufeinanderfolgen; es mussten also periodisch wechselnde, elektrische Zustände, d. h. elektrische Schwingungen erzeugt werden und zwar Schwingungen von sehr kurzer Schwingungsdauer, damit die ihnen entsprechenden Wellen bei der ausserordentlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine Länge von nur wenigen Dezimetern erhielten.

Wohl kannte man die Erzeugung elektrischer Schwingungen schon, und die Herstellung rasch abreissender elektrischer Störungen war im von Helmholtz'schen Laboratorium auch bereits versucht worden. Ja W. von Bezold hatte 1870 sogar die Länge von elektrischen Wellen wirklich gemessen und ihre Interferenz in Drähten beobachtet und doch fehlten noch wesentliche Glieder in der Kette. Es mussten ein, oder besser zwei neue Momente hinzutreten. Wir sind so glücklich, einen authentischen Bericht über das Werden seiner epochemachenden Arbeiten von Hertz selbst zu besitzen: In der einleitenden Uebersicht zu seinen gesammelt herausgegebenen Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft¹⁾ giebt er ein klassisch schönes Bild des allmählichen Vordringens eines forschenden Genius, wobei der bescheidene Mann freilich Vieles verschweigt, was wir wieder ergänzend zufügen müssen, namentlich die Bedeutung seiner früheren Arbeiten.

Er führt an, dass sein Interesse für elektrische Schwingungen ursprünglich geweckt worden sei durch eine Preisarbeit, welche die philosophische Fakultät zu Berlin ebenfalls im Jahre 1879 gestellt hatte; sie verlangte, irgend eine Beziehung zwischen den elektrodynamischen Kräften und der dielektrischen Polarisation der Isolatoren experimentell nachzuweisen. H. von Helmholtz empfahl dem jungen Hertz, sich an dieser Arbeit zu versuchen. Indessen erkannte Hertz, dass die damals bekannten Schwingungen zu langsam waren, um einen Erfolg zu sichern, und unterliess daher diese Arbeit; aber seine Augen waren von dieser Zeit an geschärft für Alles, was mit elektrischen Schwingungen zusammenhing. So erkannte er auch sofort die Bedeutung einer an sich recht unscheinbaren Beobachtung, welche weiterführen sollte.

1) Leipzig. J. A. Barth. pp. VII. n. 296. 1892.

Einer jener Zufälle bot die Hand, welche oft den suchenden Forscher auf den rechten Pfad führen und folgewichtige Gedankenreihen auslösen. Hertz erzählt das selbst sehr hübsch: In der Sammlung des physikalischen Kabinetts der technischen Hochschule zu Karlsruhe fand sich ein altes Paar sog. Riess'scher oder Knochenhauer'scher Spiralen vor, kurze, einfache, in einer Ebene liegende Spiralen aus einem isolierten Drahte. Hertz zeigte sie in der Vorlesung und stellte mit ihnen Versuche an. Dabei bemerkte er, wie schon der Schlag einer ganz kleinen Leydener Flasche oder eines kleinen Induktoriums durch die eine hindurch geschickt genügte, in der zweiten Spirale eine kräftige Induktionswirkung hervorzurufen, falls nur in dem Kreise der ersten eine kleine Funkenstrecke war. Hertz machte hier also zum ersten Male die Bemerkung der „wirksamen Funkenstrecke“, welche für alle seine folgenden Versuche massgebend wurde. Während man früher und zum grossen Teile mit Recht eine Funkenentladung als ein höchst kompliziertes und vor allem in seinen Einzelheiten grossen zufälligen Schwankungen unterworfenen Phänomen ansah und darum überhaupt Experimente, in denen elektrische Funken eine Rolle spielten, als „unreinlich“ etwas scheel anzublicken gewohnt war, fand Hertz ein klares Phänomen, wenn nur die sich entladenden Kondensatoren z. B. seine Leydener Flaschen von kleiner Kapazität und vor allem die Bahnen der Entladung einfach gestaltet und kurz waren und nicht wie etwa beim Induktorium aus langen Drahtspiralen bestanden. Dann erschien in einer gleich gestalteten, gleich kurzen Bahn ein deutliches Ansprechen der elektrischen Bewegungen, eine deutliche elektrische „Resonanz“. Wir haben hier den eigentlichen Kern der Hertz'schen Entdeckungen. Ich möchte die experimentelle Grundlage aller späteren Versuche in folgenden Sätzen nochmals zusammenfassen:

1) Lassen wir die Ladungen von kleinen Ansammlungsapparaten mit kleinen Kapazitäten durch kurze und einfach gestaltete Entladungsbahnen sich in mittelgrossen Funken ausgleichen, so erhalten wir ein scharfes, sehr kurz dauerndes Abreissen, also die lange gesuchte plötzlich eintretende elektrische Gleichgewichtsstörung. Das war eine durch keine Theorie vor auszusehende, neu zu entdeckende Eigenschaft gewisser elektrischer Funken, von der doch alles Folgende abhing. Die Theorie zeigte

aber weiter, dass damit zugleich der andere Erfolg gesichert war, dass man Schwingungen von der gewünschten Schnelligkeit erhielt; hier hatte Hertz also einen kräftigen „Erreger“ elektrischer Schwingungen.

2) Solche Schwingungen sind im Stande, analoge Resonanzschwingungen von hinreichender Deutlichkeit in einem anderen gleichbeschaffenen Entladungskreise hervorzurufen, selbst wenn derselbe räumlich durch grössere Strecken von dem ersten getrennt ist. Hier hatte Hertz also einen „Empfänger“ gefunden, mit dem er die Verbreitung der vom ersten Kreise erregten Schwingungen an beliebigen Stellen nachweisen konnte.

In seiner zunächst erscheinenden Arbeit: „Ueber sehr schnelle elektrische Schwingungen“ sehen wir ihn mit den genannten Erscheinungen beschäftigt; es sind Studien über sein Werkzeug, welches er sich schafft und allmählich vervollkommnet. Als Erreger der Schwingungen dienen Drahtrechtecke oder einfache Metallstäbe, auf deren Enden Zylinder oder Metallkugeln befestigt sind; in der Mitte sind die Erreger unterbrochen und tragen hier kleine Kugeln, zwischen denen der erregende Funke überspringt. Geladen werden die Erreger durch ein Induktorium, dessen komplizierter Entladungsmechanismus aber nur eine mittelbare Rolle spielt und kaum in Betracht kommt. Die Empfänger sind meist einfache Drahtrechtecke, ebenfalls mit einer Funkenstrecke versehen; ihre Grösse ist so ausprobiert, dass sie bei einem gegebenen Erreger möglichst deutliche Resonanzerscheinungen zeigen, sie sind „elektrisch abgestimmt“. Tritt in ihnen eine elektrische Resonanzschwingung auf, so springen Funken in ihrer Funkenstrecke über; die Maximallänge der Funken gibt ein Mass für die Intensität der Wirkung.

Dies ist das Prinzip des neuen einfachen Hilfsmittels, welches Hertz in das physikalische Laboratorium eingeführt hat, und mit dem wir jetzt zahlreiche Forscher beschäftigt sehen, nach den verschiedensten Richtungen hin in noch unbekannte Tiefen vorzudringen. Dass die mit diesem seinen Instrument gemachten Entdeckungen und alle weiteren Arbeiten von Hertz sogleich den grossen Beifall fanden, haben sie ausser ihrem inneren Werte, — wie oft bleiben die schönsten Entdeckungen lange unbeachtet, — einem seltsamen Zufall zu verdanken. Hertz fand schon bei seinen ersten Versuchen über die elektrischen

Resonanzschwingungen ein Nebenresultat, welches durch seine Klarheit und Einfachheit bestach und durch seine Unerklärlichkeit und Neuheit überraschte. Es zeigte sich, dass die Grösse und Helligkeit jener Fünkchen im Resonator stark beeinflusst wird durch die im erregenden Kreise überspringenden Funken. Waren diese von der Resonatorfunkenstrecke aus zu sehen, so waren sie selbst klein und unscheinbar, sie wurden aber sofort hell und länger, wenn zwischen beiden ein Schirm stand. In seiner Arbeit „Ueber einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung“ schildert er in geradezu dramatischer Weise, wie er durch planvoll angestellte Versuche schliesslich zu dem gar keine anderen Deutungen zulassenden Resultate gelangte, dass jene eigentümliche Fernwirkung auf das von Funkenentladungen in reichlichem Masse ausgehende ultraviolette Licht zurückzuführen ist. Zahlreiche Forscher knüpften an diese Beobachtungen weitere Untersuchungen an, welche immer neue merkwürdige Einzelheiten dieser Wirkungen kennen lehrten, ja es ist aus jenen Versuchen von Hertz ein ganzes Gebiet der Experimentalphysik hervorgewachsen, das der lichtelektrischen Versuche. Wenn diese Versuche auch zunächst noch nicht tiefere Einblicke in die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität gaben, so machten sie Hertz doch populär; man war auf Alles, was von ihm kam, gespannt.

Nur wenige ahnten wohl damals, dass nicht jene an sich ja schöne, aber doch nur nebenbei gemachte Beobachtung die Hauptsache war, sondern dass wir mit den Versuchen über die elektrischen Schwingungen selbst an der Schwelle viel wichtigerer Errungenschaften standen.

Hertz sehen wir weiter an der Ausarbeitung seiner Hilfsmittel beschäftigt. Im folgenden Jahre erschien die Arbeit: „Ueber die Einwirkung einer geradlinigen elektrischen Schwingung auf eine benachbarte Strombahn“. Dies war wohl die schwierigste, aber auch die wichtigste von Hertz experimentellen Vorarbeiten; sie wird bei Darstellungen der Hertz'schen Arbeiten weniger berücksichtigt und doch bildet sie die notwendige unmittelbare Vorstufe zu den weiteren Erfolgen. Das Phänomen der Resonanz war Hertz geläufig geworden. Nun handelte es sich darum, der Verbreitung der Schwingungen im Raume nachzuforschen. Die Hilfsmittel hierzu waren gegeben: als Erreger

diente ein geradliniger Metallstab mit einer Funkenstrecke in der Mitte, welcher an beiden Enden je eine Kugel als Ansammlungsapparat trug. Springen Funken über, so fluten die elektrischen Spannungen sehr rasch hin und her, wir haben eine geradlinig hin und her verlaufende Schwingung, deren Wirkung sich in den umgebenden Raum hinaus verbreitet. Als Empfänger dienten abgestimmte Drahtkreise, gleichfalls mit sehr kleinen, mikrometrisch zu messenden Funkenstrecken. Sie wurden in die verschiedensten Lagen zu dem Erreger gebracht, und Hertz studierte und mass die Wirkungen. Dieselben waren in den verschiedenen Punkten der Umgebung und bei verschiedenen Stellungen des empfangenden Kreises sehr verschieden, aber ein Gesetz liess sich bald erkennen. „Die Auffindung und Entwirrung dieser äusserst regelmässigen Erscheinungen machte mir besondere Freude“, sagt Hertz. Durch eine scharfsinnige, aber schliesslich einfache und vor allem unanfechtbar klare Diskussion stellte er in jedem Falle fest, wie die elektrische Kraft in den einzelnen Raumpunkten in der Umgebung der geradlinigen Schwingung wirken müsse, um gerade das beobachtete Verhalten des Empfängers mit seiner Funkenstrecke hervorzurufen, und gelangte schliesslich dahin, ein vollständig übersichtliches Bild von der Verteilung der Kräfte im Raume zu geben. Dabei zeigten sich sehr merkwürdige Einzelheiten, vor deren Aufklärung alle älteren Theorien ratlos standen. Noch im selben Jahre 1888 zeigte er in seiner Abhandlung: „Die Kräfte elektrischer Schwingungen, behandelt nach der Maxwell'schen Theorie“, dass diese Theorie eine Verteilung der elektrischen Kräfte genau so gibt, wie sie die Beobachtungen ergeben hatten, mit allen Einzelheiten und scheinbaren Rätseln. Hertz ging hier von der früher erwähnten abgeklärten Form der Maxwell'schen Theorie aus, die er in seiner theoretischen Arbeit vom Jahre 1884 begründet hatte.

Nun folgten die grossen Entdeckungen Schlag auf Schlag; jede bezeichnet einen neuen Sieg der Maxwell'schen Theorie, damit der neueren Anschauungen überhaupt. In die Zeit vom 10. November 1887 bis zum 13. Dezember 1888 fallen die epochemachenden Berichte an die Berliner Akademie.

Zunächst fand die schon erwähnte Preisaufgabe der Berliner philosophischen Fakultät vom Jahre 1879, welche Hertz überhaupt erst auf das Gebiet der elektrischen Schwingungen hinge-

lenkt hatte, ihre definitive Lösung in der Arbeit: „Ueber Induktionserscheinungen, hervorgerufen durch die elektrischen Vorgänge in Isolatoren“. Es wurde gezeigt, dass die „wechselnden Zustände des elektrischen Zwanges oder der dielektrischen Polarisation“ elektrodynamische Wirkungen und damit Induktionswirkungen äusserten, gerade so wie ein in einem metallischen Leiter entstehender oder vergehender galvanischer Strom. Das Zwischenmittel hatten die alten Theorien meist ignoriert, nach ihnen sprang ja die Wirkung unvermittelt über dasselbe hinweg; die Maxwell'sche Theorie stellte diese elektrodynamischen Wirkungen als eine ihrer wichtigsten Konsequenzen hin. Hiermit war zugleich die vielumstrittene Frage nach der Wirkung der „ungeschlossenen Ströme“ erledigt.

Drei Monate später erschien die Abhandlung: „Ueber die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrodynamischen Wirkungen“.

Hier wurde der experimentelle Nachweis gegeben, dass sich elektrodynamische Wirkungen wirklich mit endlicher Geschwindigkeit durch den Raum hindurch fortpflanzen. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Wellen in der Luft wurde die Lichtgeschwindigkeit wenigstens der Grössenordnung nach erhalten. Freilich fand er für die Ausbreitungsgeschwindigkeit längs gespannter Drähte einen anderen Wert, als für die Geschwindigkeit in freier Luft; die Theorie erforderte denselben Wert. In Folge eines leidigen Rechenfehlers wurde ferner ein zu kleiner Wert für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Drähten und nicht die Lichtgeschwindigkeit gefunden. Aber gerade hier zeigte sich der vorurteilsfreie, wahrheitsliebende Forscher. Wiewohl er von der Richtigkeit der Theorie überzeugt war, gab er doch der Wahrheit die Ehre und gestand, hier auf ein ihm zunächst unlösliches Rätsel gestossen zu sein. Hören wir ihn selbst, wie er vier Jahre später, nachdem sich alles aufgeklärt hatte, in der Einleitung seines Buches hierüber spricht:

„Ich habe hier so ausführlich berichtet, weil ich den Leser überzeugen möchte, dass ich in dieser Untersuchung nicht einfach in bequemster Weise eine vorgefasste Meinung durch passende Deutung der Versuche habe bestätigen wollen. Im Gegenteil habe ich diese nicht leichten Versuche entgegen einer vorgefassten Ansicht mit bestmöglicher Sorgfalt durchgeführt. Und doch habe ich offenbar bei allem Glück gerade in dieser Unter-

suchung entschieden Unglück gehabt. Denn anstatt mit leichter Mühe zum wahren Ziele zu gelangen, wozu ein richtig angelegter Plan mich vielleicht berechtigt hätte, scheine ich mit grosser Mühe in die Irre gegangen zu sein.“

Erst später zeigte sich, dass einfach die Wände des Zimmers das Abweichen von der Theorie herbeigeführt hatten durch die Reflexionen, welche die elektrischen Wellen an ihnen erfahren. Edouard Sarasin und de la Rive haben kürzlich endgiltig gezeigt, dass die Ausbreitungsgeschwindigkeit an Drähten wie in Luft genau die gleiche und zwar die des Lichtes ist, indem sie die Hertz'schen Versuche im grossen Massstabe und unter den verschiedensten Vorsichtsmassregeln in den weiten Räumen des Maschinenhauses der Genfer Wasserwerke wiederholten. So ist auch dieses Ergebnis für uns jetzt vollkommen klar; die Störungen aber, welche sich in die Versuche von Hertz selbst eingeschlichen hatten, haben einen Beweis seiner Gewissenhaftigkeit geliefert.

Noch im gleichen Jahre folgt die Arbeit: „Ueber elektrodynamische Wellen im Luftraume und deren Reflexion“. War es bisher nur geglückt, mit Wellen zu arbeiten, welche entlang einem Drahte hingleiten, so wies Hertz hier die Existenz solcher Wellen im freien Luftraume nach. Dem Erreger gegenüber wurde an der Wand ein 8 Quadratmeter grosser Zinkblechschirm aufgehängt; an ihm wurden die vom Erreger ausgehenden elektrischen Wellen reflektiert und sie bildeten mit den ankommenden Wellen die Interferenzerscheinungen der stehenden Wellen mit ihren Knoten und Bäuchen. Wenn nun Hertz mit seinem als Empfänger dienenden Drahtringe zwischen dem Schirme und dem Erreger hin und her ging, so verschwanden die Fünkchen in dem Ringe in gewissen Punkten, erschienen an anderen Stellen wieder, verschwanden aufs neue u. s. w. Es fand also eine periodisch wechselnde Erscheinung statt entsprechend den Knoten und Bäuchen der elektrischen Kraft; damit war die wellenartige Natur, damit aber die Endlichkeit der Ausbreitungsgeschwindigkeit auch für diesen Fall definitiv erwiesen.

In der Arbeit: „Ueber die Fortleitung elektrischer Wellen durch Drähte“ zeigt er, dass so schnell in ihrer Richtung wechselnde elektrische Bewegungen, wie die hier benutzten, sich fast ausschliesslich auf der Oberfläche der Leiter verbreiten, nicht aber tief in das Innere derselben eindringen. Dadurch erhält

eine im Anschluss an Faraday's und Maxwell's Anschauungen angebahnte Theorie Poynting's über die elektrische Strömung überhaupt eine sehr wichtige experimentelle Stütze. Nach dieser Theorie ist der elektrische Strom ein Phänomen, welches seinen Sitz weniger im Inneren des stromdurchflossenen Drahtes, als vielmehr in dem Aussenraum desselben hat. Die magnetische Wirkung des Stromes zeigt ja, dass in diesem Aussenraum ebenfalls etwas vor sich geht, was mit dem Stromphänomen sehr eng zusammenhängt. Es fliesst nicht etwas im Drahte, sondern von aussen her tritt die Energie an den Draht heran, im Drahtmateriale wird sie nur in die spezielle Form der Wärme umgewandelt. Nicht die Kupferseele eines Kabels vermittelt also die Energiewanderung von der Aufgabestelle zur Empfangsstelle, sondern die umhüllende Isolationsschicht; die Begriffe „Leiter und Nichtleiter“ vertauschen geradezu ihre Rollen. Freilich kommt dieses scheinbare Paradoxon nur dadurch zu Stande, dass man, wie Hertz sehr treffend bemerkt, die Angabe dessen unterschlägt, worauf man die Bezeichnung des Geleitetwerdens bezieht. In der That: Das elektrische Fluidum der alten Anschauungen ist abgeschafft, an seine Stelle sind selbständig im Raum bestehende und fortschreitende elektrische und magnetische Kräfte und die mit ihnen wandernden Energieen getreten, und für diese liegen die Verhältnisse der Leitfähigkeit gerade umgekehrt wie für die hypothetischen elektrischen Flüssigkeiten.

Im Laufe der Versuche hatte Hertz gelernt, sehr kurze Wellen, elektrische Wellen von 30 cm Länge, herzustellen und mit ihnen zu arbeiten. Die ihnen entsprechenden Schwingungen liessen sich in einem cylindrischen Hohlspiegel sammeln und geradezu zu einem Strahle elektrischer Kraft vereinigen. Nach der aus Maxwell's Theorie folgenden elektromagnetischen Auffassung der Lichterscheinungen musste sich ein solcher Strahl wie ein wirklicher Lichtstrahl verhalten. Dass dieses der Fall ist, zeigte Hertz in der Abhandlung: „Ueber Strahlen elektrischer Kraft“, derjenigen Abhandlung, welche am populärsten geworden ist und das grösste Erstaunen auch in den fernest stehenden Kreisen erregt hat. Der bescheidene Mann sagt in der Sammlung seiner Schriften: „Schnell hintereinander und ohne Mühe gelangen diese Versuche. Die Versuche mit den Hohlspiegeln sind schnell aufgefallen, sie sind häufig wiederholt und bestätigt worden. Sie

haben einen Beifall gefunden, welcher meine Erwartungen weit übertraf.“

Er zeigte, wie solche Strahlen elektrischer Kraft sich geradlinig ausbreiten, wie das Licht, dass sie durch Metalle nicht hindurchgehen sondern von ihnen reflektiert werden, dass sie dagegen durch hölzerne Thüren und steinerne Wände hindurchdringen; dass sich durch Aufstellen von Metallschirmen hinter diesen Räume herstellen lassen, wo keine elektrische Wirkung mehr nachweisbar ist, dass also auf diese Weise geradezu elektrische Schatten entstehen, dass diese Strahlen beim Durchgang durch Drahtgitter sich polarisieren lassen wie Lichtstrahlen, wenn wir sie z. B. durch Nicol'sche Prismen schicken; das glänzendste Experiment aber war das, bei dem er den elektrischen Strahl gegen ein grosses, 12 Centner schweres Pechprisma schickte; der Strahl zeigte sich abgelenkt; er wurde gebrochen wie ein Lichtstrahl in einem Glasprisma. Damit war dem Ganzen die Krone aufgesetzt und das Gebäude vollendet.

In der 3 Jahre später erschienenen, also schon aus Bonn stammenden Arbeit: „Ueber die mechanischen Wirkungen elektrischer Drahtwellen“ zeigte er noch, dass sich nicht nur eine Welle elektrischer Zustandsänderungen vom Erreger aus mit Lichtgeschwindigkeit in den Raum hinaus verbreitet, sondern zugleich mit ihr und mit ihr untrennbar verbunden eine magnetische Welle, wie es die Theorie erfordert.

In seiner letzten experimentellen Arbeit endlich kommt er noch einmal auf die Gasentladungen zurück und zeigt, fast gleichzeitig mit E. Wiedemann und Ebert, dass die Kathodenstrahlen durch dünne Metallblättchen hindurchgehen, während sie durch jede noch so dünne Schicht eines Dielektrikums abgeschnitten werden.

Hier setzte der unerbittliche Tod dem kühnen Experimentator eine Grenze des weiteren Vordringens. Noch zwei theoretische Arbeiten verdanken wir ihm: „Ueber die Grundgleichungen der Elektrodynamik in ruhenden und bewegten Körpern“, welche einen grossen, namentlich formalen Fortschritt der Theorie der elektrischen und magnetischen Erscheinungen bezeichnen.

Auf seinem Sterbelager vollendete er noch ein Buch: „Ueber die Prinzipien der Mechanik“, dessen baldigem Erscheinen die wissenschaftliche Welt mit grosser Spannung entgegenseht. —

Fassen wir noch einmal die Hauptergebnisse seiner Forschungen ins Auge: Er hat uns aus dem Banne der Fernwirkungstheorien gelöst und von den elektrischen und magnetischen Wirkungen gezeigt, dass sie sich mit endlicher Geschwindigkeit von Teilchen zu Teilchen durch den Raum verbreiten. Dies ist ein Ergebnis von hoher allgemeiner, ich möchte sagen, philosophischer Bedeutung. Das mystische Dunkel, welches über jenen geheimnisvollen Wirkungen in die Ferne von Alters her lag, ist aufgehellt, das zwar von der Wissenschaft bis dahin geheiligte, aber vom Verstande nur ungerne geduldete Dogma, dass ein Etwas dort wirken könne, wo es selbst nicht ist, hat für den Fall elektrischer und magnetischer Wirkungen seine Giltigkeit verloren.

Weiter ist die Identität der Art der Energie zweier gewaltiger Agentien in der Natur unumstösslich nachgewiesen: Licht- und Elektrizitätswirkungen sind wesensgleich, verschiedene Aeusserungen derselben Vorgänge. Damit ist die alte elastische Optik durch die elektromagnetische abgelöst worden. Die Lichtgeschwindigkeit ist gleich der Fortschrittggeschwindigkeit der elektromagnetischen Wellen; diese gehorchen den optischen Gesetzen; das Gebiet der Optik ist enorm erweitert; zu den ultravioletten, sichtbaren und infraroten Strahlen mit ihren nur nach Tausendstel Millimetern messenden Wellenlängen sind Strahlen von vielen Metern Wellenlängen hinzugetreten; die Farbenskala ist ins Unendliche verlängert, wenn auch nicht gerade die Zäpfchen und Stäbchen unseres Sehorganes auf die neuen Schwingungen reagieren.

Aber noch in anderer Richtung haben wir den Hertz'schen Untersuchungen viel zu verdanken; wir sind, wie mir scheinen will, der Lösung der brennenden Frage: „Was ist Elektrizität?“ durch sie ausserordentlich nahe gerückt. Hertz zeigt, dass es eine eigentliche Elektrizität, dieselbe als Fluidum im Sinne der älteren Theorien gedacht, überhaupt nicht gibt; was wir durch diesen Hilfsbegriff erklären wollten, sind Zustände in jenem zwar hypothetischen, aber durch die Thatfachen uns vertrauten Fluidum „dem Aether“, welcher alle Materie durchdringt. Auf jene letzte Hypothese werden wir also hingewiesen und die Erscheinungen des Magnetismus, der Elektrizität und der Optik scheinen insgesamt schliesslich eine einheitliche Erklärung zu finden in

einer „Mechanik des Aethers“. In dem Momente, wo dieses Gebäude vollendet ist, werden wir dem Ziele einer einheitlichen Naturerklärung überhaupt erheblich näher sein. Das sind die Errungenschaften der neuesten Forschungen, an denen Hertz einen überaus grossen Anteil hat. —

Ueberblicken wir die Reihe von seinen Leistungen, so fragen wir erstaunt: Ist es denn möglich, dass ein Mann in dem Zeitraum von 13 Jahren eine solche Fülle neuer Erkenntnisse zu Tage fördern, soviel neue Bahnen eröffnen und ganze neue Forschungsgebiete erschliessen konnte? Wenn uns auch das bittere Leiden von Hertz und sein zu frühes Hinscheiden tief erschüttern und betrüben muss, wenn der Gedanke an das, was dieser Geist noch hätte aufklären können, uns mit dem herben Schicksale, das ihn uns entriss, hadern macht, so dürfen wir doch sagen: Es war ein kurzes aber glückliches und reich gesegnetes Gelehrtenleben; der Ruhm unseres Hertz ist gesichert und wird hinausstrahlen in die Jahrhunderte fortschreitender geistiger Entwicklung, was diese auch an Grossthaten noch in ihrem Schosse bergen mögen, der Einfluss seiner Forschungen wird sich geltend machen, so lange elektromagnetische Schwingungen den Erdball noch erwärmen und erhellen.
