ZUR ERINNERUNG

AN

PAUL DRUDE

ZWEI ANSPRACHEN

VON

F. RICHARZ UND W. KÖNIG

MIT EINEM BILDE UND EINEM VERZEICHNIS
DER WISSENSCHAFTLICHEN ARBEITEN DRUDE'S

VERLAG VON ALFRED TÖPELMANN — GIESSEN — 1906

P. Pinner.

Geb. 18. Juli 1868, gest. 3. Juli 1902.

ZUR ERINNERUNG

AN

PAUL DRUDE

ZWEI ANSPRACHEN

VON

F. RICHARZ UND W. KÖNIG

MIT EINEM BILDE UND EINEM VERZEICHNIS
DER WISSENSCHAFTLICHEN ARBEITEN DRUDE'S

VERLAG VON ALFRED TÖPELMANN – GIESSEN – 1906

B 57/254

Druck von C. G. Röder G. m. b. H., Leipzig.

L 57/43

GEDÄCHTNISFEIER

FÜR

PAUL DRUDE

IM

PHYSIKALISCHEN INSTITUT
DER UNIVERSITÄT GIESSEN

VERANSTALTET VOM

GIESSEN-MARBURGER
PHYSIKALISCHEN
KOLLOQUIUM

AM 28. JULI 1906

Am Abend des 23. Juli d. J. versammelten sich im großen Hörsaale des Gießener Physikalischen Institutes die Teilnehmer des Gießen-Marburger Physikalischen Kolloquiums zu ihrer letzten Sommerzusammenkunft. Der Rektor der Gießener Universität, Geh. Hofrat Professor Dr. Behaghel, zahlreiche Freunde und ehemalige Kollegen Drudes waren erschienen. Drudes Bild — dasselbe, welches, dank dem freundlichen Entgegenkommen der Firma Johann Ambrosius Barth, unseren Bericht schmückt — umgeben von Lorbeerbäumen und dunkelm Laub, vergegenwärtigte den Anwesenden die lieben Züge ihres dahingeschiedenen Freundes.

Zunächst ergriff das Wort Professor Richarz (Marburg) zu folgender Ansprache:

Hochansehnliche Trauerversammlung!

Als nach dem erschütternden Ereignisse des 5. Juli Kollege König und ich auf der traurigen Fahrt nach Gotha zusammentrafen, lenkte sich unser Gespräch alsbald auch auf die nächste bevorstehende Zusammenkunft unseres gemeinsamen Kolloquiums. Wir hatten beide schon vorher, jeder für sich, das Gefühl gehabt, daß es uns zunächst unmöglich sein werde, fortzufahren in unseren wissenschaftlichen Vorträgen und Erörterungen; daß es vielmehr uns ein inneres unabweisbares Bedürfnis sei, die heutige Zusammenkunft nur seinem Gedächtnisse zu weihen, dessen ureigenste Schöpfung unser gemeinsames Gießen-Marburger Kolloquium ist, dem Gedächtnisse unseres unglücklichen Freundes Paul Drude.

Schon bald, nachdem er nach Gießen berufen worden war, tauchte in ihm — wie er mir gesagt hat — der Gedanke auf, von welch großer Förderung es für unsere beiden Universitäten sein könne, wenn ihre Nähe zur Einrichtung eines gemeinsamen Kolloquiums benutzt würde. Mit Beginn des Sommers 1902 brachten wir

diesen Gedanken zur Verwirklichung, und daß uns diese Verwirklichung so gelang, und auf die Dauer gelang, war vor allem seiner Persönlichkeit zu verdanken.

Noch steht sein Bild unverblaßt vor uns, wie er uns vor zwei Jahren zum letzten Male vortrug, mit seiner ganzen Klarheit, Anschaulichkeit und Lebendigkeit, über die schönen Schlußfolgerungen aus seiner Kombination der elektromagnetischen Theorie der optischen Dispersion mit der Elektronen-Theorie. Er entwickelte uns keine langwierigen Rechnungen, sondern setzte uns die Voraussetzungen und die Fragestellung auseinander, gab uns den Weg an, wie die Theorie zur Antwort gelangt, und schrieb dann sogleich die resultierenden Formeln hin, ohne uns durch die unwesentlichen Einzelheiten ihrer Ableitung zu ermüden. Dann aber machte er uns seine Formeln in meisterhafter Weise lebendig, zeigte uns die physikalische Bedeutung der einzelnen Glieder der Gleichung, welchen Sinn es habe, daß die eine Größe im Zähler, die andere im Nenner, die eine in der ersten, die andere in der zweiten Potenz auftrete. Schließlich kam dann die Anwendung der Formel, die er uns in kurzer Zeit ganz vertraut gemacht hatte, auf die experimentellen Resultate und die wichtige Entscheidung über das Verhalten einer chemischen Valenzstelle zu den Elektronen, zunächst in durchsichtigen Medien, welche Entscheidung er als Erster nunmehr zu treffen imstande war. Er hat uns ja noch viele andere Vorträge in unserem Kolloquium gehalten, manche davon durch schöne Versuche äußerlich glänzender als jener; aber ich glaube gerade jener nach Inhalt und Form gleich ausgezeichnete Vortrag war besonders charakteristisch für

alle Vorzüge seiner Forschungs- und seiner Darstellungsweise, und ist uns allen wohl in besonders lebhafter Erinnerung geblieben.

Aber unser Kolloquium würde diesen Namen zu Unrecht tragen, wenn nicht außer den Vorträgen selbst auch die Diskussion über sie sich zu vollster Freiheit entwickelt hätte. Und daß dies geschah, verdanken wir auch wiederum vor allem Drudes Persönlichkeit. Einerseits befähigten ihn sein umfassendes Wissen, seine schnelle und durchdringende Auffassungsgabe allen Vorträgen — und wir dürfen uns großer Vielseitigkeit in deren Inhalt rühmen — stets und bis ins einzelne kritisch und mit vollem Verständnis zu folgen. Andererseits war er ja auch — und ich glaube, das war für uns alle, die wir mit ihm in wissenschaftlichem Verkehr standen, ein besonders schätzbares Glück — eine so offene Natur, so wenig seine etwaigen Zweifel und Bedenken verschweigend, so wenig zurückhaltend mit seinen eigenen Einfällen, so frisch und unmittelbar in seinen Äußerungen, daß die Diskussion durch ihn stets einen sehr lebhaften, klärenden und anregenden Verlauf erhielt.

Diese vortrefflichen Eigenschaften seines Wesens, die in der wissenschaftlichen Debatte zutage traten, waren es auch, die uns nicht nur den Physiker, sondern auch den Menschen Drude so liebenswert machten, so daß für gar manchen von uns aus dem wissenschaftlichen Verkehr eine warme Freundschaft entstand. Und jene frische Offenheit, gepaart mit heiterem Humor, brachten ihn auch in ein warmes persönliches Verhältnis zu den jüngeren Teilnehmern unseres Kolloquiums, die bei aller Verehrung für ihn sich doch durch seinen jugendlichen,

von jeder Steifheit freien Sinn ihm innerlich nahe stehend fühlten.

Als wir nach dem letzten Kolloquium mit Drude Ende Februar vorigen Jahres unseren scheidenden Freund zum Marburger Bahnhofe geleitet hatten, und der Zug sich unter den Klängen des von den jüngeren Teilnehmern angestimmten studentischen Abschiedsliedes in Bewegung setzte, da war uns allen wehmütig ums Herz, zumal unter dem Eindrucke der von ernsten, fast traurigen Gedanken erfüllten Abschiedsworte, die Drude zuvor an uns gerichtet hatte. Aber wir hofften auf baldiges Wiedersehen. Vielen von uns sollte es jedoch damals schon ein Abschied sein für immer!

An den Verkehr mit seinen hiesigen Freunden, an seine hiesige Tätigkeit und an unsere Zusammenkünfte hat Drude von Berlin aus zurückgedacht, wie er mir vor einigen Monaten schrieb, als an die schönste Zeit seines Lebens. Wir haben sein Bestes besessen! und wir besitzen es in unseren Zusammenkünften weiter, als sein kostbares Erbe, und gedenken seiner in Dankbarkeit und in tiefer, tiefer Betrübnis.

* * *

Darauf hielt Professor W. König (Gießen) nachstehende Gedächtnisrede.

Meine Herren!

Als wir vor wenigen Tagen droben an der Bismarcksäule den Fackelzug der Studenten unserer Hochschule herannahen sahen, hat vielleicht mancher unter uns jenes anderen Fackelzuges gedacht, der am 13. November 1902 an diesem Institute sich vorbeibewegte. Jener Abend war wohl der Höhepunkt in dem Leben des Mannes, dessen jähes Ende unsere Gemüter in den letzten Wochen immer wieder beschäftigt hat, — jener Abend, der dem jugendlichen Professor den Erfolg seiner hiesigen Tätigkeit in der dankbaren Begeisterung seiner Schüler zur freudigsten Gewißheit machen konnte. Denn das, was an größeren Ehren darauf folgte, was für einen andern vielleicht die Erfüllung ehrgeiziger Wünsche gewesen wäre, die Berufung auf den ersten und größten Lehrstuhl der Physik im deutschen Reiche — das war, wir wissen es alle, für unseren Drude nur eine von vornherein mit schwerem Bedenken und innerem Widerstreben übernommene Pflicht, die ihn nach seiner Empfindung von den freien Höhen seines Gießener Daseins hinunterführte — hinunter in die dicke Luft großstädtischen Getriebes.

Wie er sich hier in seiner glücklichen Gießener Zeit gab, froh und ungezwungen in der ganzen sprühenden Lebhaftigkeit seiner Natur, das hat Ihnen Kollege Richarz soeben in beredten Worten geschildert. Gestatten Sie mir nunmehr, Ihre Blicke von dieser Höhe seines Lebens auf den Anfang seiner wissenschaftlichen Entwicklung zurückzuwenden und Sie an der Hand seiner wissenschaftlichen Arbeiten den Weg zu führen, der ihn in einem so kurzen Leben zu solchen Höhen, zu solchen Erfolgen geführt hat.

Paul Drude war am 12. Juli 1863 in Braunschweig als Sohn eines praktischen Arztes geboren. 1882 verließ er das Gymnasium und seine Vaterstadt und bezog die Universität, um Mathematik und Physik zu studieren. Er besuchte die Universitäten Göttingen, Berlin und Freiburg und hörte und lernte bei den Besten seines Faches, bei Weierstraß, Kronecker und Kummer, Fuchs und Klein, bei Helmholtz und Kirchhoff, bei Warburg, Voigt und Riecke. Bei diesen Männern erwarb er sich jene gründliche wissenschaftliche Schulung, besonders jene ausgezeichnete mathematische Durchbildung, die ganz wesentlich dazu beitrug, ihn zu einem so fruchtbaren Gelehrten zu machen, indem sie ihn befähigte, seinen wissenschaftlichen Ideen mit einer erstaunlichen Schnelligkeit und Gewandtheit strenge Fassung und mathematische Gestalt zu verleihen. Derjenige aber, der seinem wissenschaftlichen Denken die Richtung gab, war Prof. Voigt in Göttingen, unter dessen Leitung er schließlich sein Universitätsstudium vollendete. Drude hat sich immer — auch noch kürzlich in seiner Antrittsrede in der Ber-

liner Akademie — gern und mit liebevoller Dankbarkeit als einen Schüler Voigts bekannt, und das schöne, innige Verhältnis zwischen Lehrer und Schüler hat bei seinem Tode auch von seiten des Lehrers einen ergreifenden Ausdruck bei der Bestattung in Gotha gefunden.

In der Zeit, als Drude in das wissenschaftliche Leben eintrat, waren es vor allem zwei Stätten, an denen der junge Physiker mit Vorliebe arbeitete, zwei Schulen, aus denen die Mehrzahl der Physiker der nächsten Generation hervorging, die Schule von Helmholtz in Berlin und diejenige von Kundt in Straßburg. Daneben lebte in dem Einfluß, den Prof. Voigt in Göttingen auf eine Reihe junger Physiker ausgeübt hat und noch ausübt, die älteste und angesehenste physikalische Schule fort, die Deutschland gehabt hat, die Schule von Franz Neumann in Königsberg. Es ist von Interesse, zu verfolgen, wie sich die Richtung Neumanns in der Wahl der Probleme und der Art ihrer mathematisch-physikalischen Behandlung auf Voigt und von Voigt auf Drude vererbte, um in dem letzteren schließlich im Laufe seiner Entwicklung ganz in der Richtung der modernen Physik aufzugehen. Franz Neumann kann man wohl als den Begründer der theoretischen Physik in Deutschland bezeichnen. Er war der Erste, und lange Zeit der Einzige, der Vorlesungen über theoretische Physik in Deutschland hielt; und daneben waren seine eigenen Arbeiten mustergültige Vorbilder für die mathematische Behandlung physikalischer Gesetzmäßigkeiten, für die Lösung der Aufgabe, die physikalischen Erscheinungen so einfach wie möglich mathematisch zu formulieren. Aus dieser Richtung seiner wissenschaftlichen Tätigkeit gingen so grundlegende Arbeiten hervor,

wie die Abhandlungen zur Theorie der induzierten Ströme. Dasjenige Gebiet aber, das sich für diese Richtung der mathematisch-physikalischen Behandlung am ergiebigsten erwies, war die Optik. Hier knüpfte Neumann an die großen Entdeckungen Fresnels an und schuf eine Theorie der Lichtbewegung, die, ein Gegenstück zur Theorie Fresnels, dieser an tieferer physikalischer Begründung und strenger mathematischer Durchbildung entschieden überlegen war. Die Grundlage beider Theorien war die Vorstellung, daß die Lichtschwingungen mechanisch-elastischer Art seien, und daß dem Lichtäther die Natur eines festen elastischen Stoffes zugeschrieben werden müsse. So stehen diese optischen Theorien in engem Zusammenhange mit den Problemen der Elastizität. Franz Neumann war aber nicht bloß Physiker, er war auch Mineralog und hat beide Fächer an der Universität Königsberg vertreten. Dieses Doppelinteresse fand seine natürliche Betätigung in zahlreichen Arbeiten über das physikalische Verhalten der Kristalle, und auch hier sind es wieder im besonderen die optischen Erscheinungen, die er zum Gegenstand seiner theoretischen und experimentellen Untersuchungen gemacht hat. Alle diese von Neumann angeregten Probleme und Interessen der Optik und der Kristallphysik fanden ihre Weiterbildung bei Voigt. Er ist noch heute der Meister der Kristallphysik in Deutschland. Das Studium der Zusammenhänge zwischen der Kristallstruktur und dem elastischen und optischen, thermischen und elektrischen Verhalten der Kristalle ist das Lieblingsthema seiner wissenschaftlichen Arbeit, und sein Institut ist mit den feinen Apparaten ausgestattet, die der experimentellen Untersuchung der

subtilen Erscheinungen zur Prüfung der entwickelten Theorien dienen.

In diesen Kreis wissenschaftlicher Arbeit wurde Drude von seinem Lehrer eingeführt; aus ihm ging seine erste Arbeit hervor und eine ganze Reihe weiterer Arbeiten schloß sich ihr in stetiger Gedankenentwicklung an. Voigt hatte die Theorie der Lichtbewegung in Kristallen entwickelt, die das Licht absorbieren. Drudes Dissertation war eine Weiterführung dieser Arbeit. Hatte Voigt die Lichtbewegung im allgemeinen behandelt, so fügte Drude die Grenzbedingungen hinzu und konnte mit ihrer Hülfe die Gesetzmäßigkeiten aufstellen, die für die Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze solcher absorbierenden Kristalle gelten. Die Arbeit war rein theoretisch. Beobachtungsergebnisse, an denen eine Prüfung der Formeln möglich gewesen wäre, lagen so gut wie gar nicht vor. Voigt stellte nun dem jungen Doktor einen prachtvollen Kristall von Antimonglanz zur Verfügung, um die Ergebnisse seiner Theorie an der Erfahrung zu erproben. Das war Drudes zweite Arbeit, die im Winter nach seiner Promotion 1887/88 erschien. Er konnte darin die volle Bestätigung der entwickelten Theorie bringen. Aber zugleich fand er gewisse experimentelle Schwierigkeiten und machte Beobachtungen, die ihm den Anlaß zu weiteren Untersuchungen gaben. Schon in seiner Dissertation hatte Drude darauf hingewiesen, daß Beobachtungen von Schenk an Magnesiumplatincyanür mit der Theorie nicht stimmten, und daß dies vielleicht durch den Einfluß von Oberflächenschichten bedingt sein könnte. Seine Beobachtungen am Antimonglanz begann er aber trotzdem ganz ohne Arg,

indem er an einer frischen Spaltfläche das reflektierte Licht unter den verschiedensten Einfallswinkeln und Azimuten beobachtete, eine Untersuchung, die Wochen in Anspruch nahm. Dabei machte er nun die Erfahrung, daß sich die optischen Eigenschaften der Fläche langsam aber stetig änderten. Offenbar überzog sich die Fläche unter der Einwirkung der Luft, mit der sie in Berührung stand, allmählich mit einer Schicht, die die optischen Vorgänge beeinflußte. Wollte er also die optischen Eigenschaften an einer Fläche von der natürlichen Beschaffenheit des Kristalles kennen lernen, so mußte er seine Beobachtungen so rasch wie möglich an einer jedesmal frisch hergestellten Spaltfläche anstellen. In dieser Weise fand er die Bestätigung seiner Theorie.

Diese Erfahrungen lenkten seine Aufmerksamkeit auf das Problem des Einflusses von Oberflächenschichten auf den Reflexionsvorgang im allgemeinen, und an durchsichtigen Körpern im besonderen. An diesen standen Theorie und Erfahrung in einem merkwürdigen Gegensatz. Für die Reflexion des Lichtes an durchsichtigen Mitteln gilt ja in erster Linie das Malussche Gesetz des Polarisationswinkels. Natürliches Licht wird unter einem bestimmten Reflexionswinkel in geradlinig polarisiertes verwandelt. Die genauere Untersuchung der Erscheinung besteht darin, daß man geradlinig polarisiertes Licht einfallen läßt und prüft, wie das Licht nach der Reflexion beschaffen ist. Fresnel hat die Gesetze dafür aufgestellt. Seine Theorie und die von Neumann und ebenso die von Voigt entwickelte Theorie des Lichtes ergaben übereinstimmend das Resultat, daß geradlinig

polarisiertes Licht nach der Reflexion von einer durchsichtigen Substanz geradlinig polarisiert bleibe. Oder, um es anders auszusprechen: Denken wir uns geradlinig polarisiertes Licht unter beliebigem Azimut und Winkel einfallen, so können wir seine Schwingung in zwei Komponenten zerlegen, die in der Einfallsebene und senkrecht zu ihr liegen. Die Theorie sagt, daß beide Komponenten zwar mit verschiedener Intensität reflektiert werden, daß aber bei dem Akt der Reflexion keine Verzögerung der einen Komponente gegen die andere eintritt, also keine mit dem Einfallswinkel allmählich wachsende Phasenverschiebung, höchstens eine sprungweise Änderung um $\pm\frac{\lambda}{2}$. Dies gilt für durchsichtige Substanzen. Ganz anders ist es bei undurchsichtigen Substanzen, solchen mit metallischer Reflexion. Hier gibt es keinen Polarisationswinkel; geradlinig polarisiertes Licht ist nach der Reflexion nicht mehr geradlinig, sondern stets elliptisch polarisiert; d. h. die beiden Komponenten haben gegeneinander eine Phasenverschiebung bei der Reflexion erlitten. Diese Tatsachen sind auch vom Standpunkte der Theorie aus durchaus verständlich. Wenn man die Gleichungen der Lichtbewegung ansetzt unter Berücksichtigung einer Absorption des Lichtes, so findet man immer, daß an der Grenze solcher Stoffe das Licht bei der Reflexion eine elliptische Polarisation annehmen muß. An durchsichtigen Körpern aber sollte das nicht der Fall sein. Trotzdem hatte Jamin in sorgfältigen Experimentaluntersuchungen den Nachweis geführt, daß auch an durchsichtigen Körpern, festen und flüssigen, eine solche elliptische Polarisation nachweisbar ist, wenn auch in schwächerem Maße als bei den Metallen. Man stand also vor der Frage: Ist die Theorie unvollständig,

oder sind die Beobachtungen durch irgend welche Umstände getrübt? Voigt hatte die letztere Vermutung ausgesprochen und auf die Oberflächenschichten als Ursache der Störungen hingewiesen.

Hier griff nun Drude ein. Er hatte bei seinen Beobachtungen am Antimonglanz in der Benutzung frischer Spaltflächen ein vorzügliches Mittel erkannt, um die reflektierenden Eigenschaften an dem Material in seiner natürlichen Beschaffenheit zu untersuchen. Antimonglanz war ein absorbierendes, metallisch-reflektierendes Material. Aber die Methode war ja ohne Schwierigkeiten auch auf durchsichtige Materialien anzuwenden. Er untersuchte die Reflexion des Lichtes an frischen Spaltflächen von Steinsalz, Kalkspat und Gips und fand an diesen die elliptische Polarisation so viel kleiner, als sie Jamin an Glas und anderen polierten Flächen gefunden hatte, daß er ohne Bedenken behaupten konnte: An ihren natürlichen Flächen verhalten sich diese Körper ganz so, wie es die Theorie erwarten läßt.

In derselben Arbeit wies aber Drude nicht bloß das Fehlen der elliptischen Polarisation bei frischen Flächen nach, sondern auch den Einfluß, den jede Berührung der Flächen mit Flüssigkeiten, jedes Putzen, jedes Polieren ausübt. Bei durchsichtigen Stoffen entsteht dadurch elliptische Polarisation, und bei undurchsichtigen wird die natürliche elliptische Polarisation durch diese Umstände außerordentlich stark verändert. Im Anschluß an diese Beobachtungen entwickelte dann Drude in einer zweiten Arbeit über Oberflächenschichten eine ausführliche Theorie der optischen Wirkung solcher Schichten.

Diese Arbeit führte sofort wieder auf ein neues Pro-

blem. Wenn es richtig ist, daß die Oberflächenschichten einen solchen starken Einfluß auf die Reflexionsvorgänge ausüben, so sind alle bisherigen Messungen der optischen Konstanten der Metalle falsch; denn sie sind alle durch Reflexion an Flächen gewonnen, die entweder in Lösungen auf chemischem oder elektrolytischem Wege oder durch Schleifen massiver Stücke hergestellt waren. Und nun folgt eine der wichtigsten und umfangreichsten Arbeiten Drudes, die in besonderem Maße ein Beispiel seiner experimentellen Geschicklichkeit und Ausdauer ist, — eine Arbeit, von der er selber sagte, daß sie die mühsamste seiner Experimentaluntersuchungen gewesen sei, — die Bestimmung der optischen Konstanten der Metalle. Er bemühte sich, den Mangel frischer Spaltflächen bei den Metallen dadurch zu ersetzen, daß er durch Feilen und Schaben und Reiben mit dem Polierstahl möglichst frische glatte Metallflächen herzustellen suchte, und er konnte den Nachweis führen, daß die von ihm an solchen Flächen gewonnenen optischen Konstanten von denen aller anderen Beobachter so abwichen, wie es seiner Vorstellung von der Wirkung von Oberflächenschichten bei jenen andern Beobachtern entsprechen würde. Er stellte also zum ersten Male für diese fundamentalen, charakteristischen Konstanten der Metalle Werte auf, die den tatsächlichen Werten, wenn nicht vollkommen, so doch wenigstens mit einer Annäherung entsprechen werden, wie sie auf diesem Wege überhaupt zu erreichen ist.

Aber das Problem der Metalloptik war gerade in jenen Jahren noch auf einem ganz anderen Wege in Angriff genommen worden. Kundt hatte keilförmige

Schichten der Metalle von solcher Dünne hergestellt, daß das Licht noch eben durch sie hindurch ging. Er konnte die Ablenkung des Lichtes in diesen Metallprismen messen und daraus den Brechungsexponenten der Metalle berechnen. Drude schloß auch dieses Problem an seine Rechnungen sofort an. Er entwickelte die Formeln für den Durchgang des Lichtes durch eine planparallele Platte, die beiderseits Oberflächenschichten besitzt, und zeigte, daß man durch eine Kombination der Beobachtungen im durchgehenden Lichte mit den Beobachtungen im reflektierten Lichte den Brechungsexponenten und die Dicke der Oberflächenschicht ermitteln und die wahren Konstanten der Metalle unter Elimination der Wirkung der Oberflächenschicht berechnen könne. Aber er hat, so viel ich sehe, von dieser Methode, die wahren Konstanten der Metalle zu bestimmen, keine Anwendung gemacht. Wohl aber hat er die Resultate dieser Arbeit in interessanter Weise auf die Frage der Konstitution der Seifenlösungen angewandt, indem er die Reflexion des Lichtes an den farbigen Stellen und am sog. schwarzen Fleck einer Seifenlamelle mit einander verglich.

Die Untersuchungen, die ich Ihnen geschildert habe, bilden eine in sich zusammenhängende Kette von Arbeiten, die sich über die Jahre 1887—91 erstrecken. Daneben erschienen eine Reihe kleinerer Arbeiten zur Theorie der Optik und gelegentliche mit Voigt, mit Nernst zusammen ausgeführte Arbeiten, die ich übergehe.

Gerade im Verlauf dieser Jahre erfolgte in Deutschland jener große Umsturz der physikalischen Anschauungen, der durch die Hertzschen Versuche ausgelöst wurde. Langsam hatte im Laufe der siebenziger und

achtziger Jahre Maxwells elektromagnetische Auffassung der Lichterscheinungen von England her bei uns in Deutschland Boden gewonnen; 1873 war sein berühmtes Lehrbuch erschienen, 1882 wurde es ins Deutsche übertragen. Da brachte Hertz in den Jahren 1887 und 88 die experimentelle Bestätigung für die von Maxwell behauptete endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektrischen Wirkungen und für die Übereinstimmung dieser Geschwindigkeit mit der Lichtgeschwindigkeit. Damit fielen die alten Anschauungen, auch in der Optik. An die Stelle der mechanisch-elastischen Auffassung der Lichterscheinungen, die sich bis dahin in der Weiterführung der alten Neumannschen Theorie in Deutschland erhalten hatte, trat mit zwingender Notwendigkeit die elektromagnetische Auffassung Maxwells. Auch in Drude sehen wir in den nächsten Jahren diesen Übergang sich vollziehen. Schon in seiner Arbeit über die optischen Konstanten der Metalle hat er am Schluß einige aus der elektromagnetischen Lichttheorie folgende Beziehungen erläutert. Aber es ist zunächst weniger der physikalische Gegensatz als die formale Übereinstimmung des alten und des neuen Standpunktes, die ihn interessiert. Das spricht sich in der 1892 in den Göttinger Nachrichten veröffentlichten Arbeit aus, in der er die verschiedenen Lichttheorien in bezug auf ihre Brauchbarkeit für die Erklärung der optischen Erscheinungen miteinander vergleicht. Er kommt dabei zu dem Resultat, daß für ein großes Gebiet optischer Erscheinungen die mechanische Theorie und die elektrische Theorie übereinstimmende richtige Erklärungssysteme liefern. Bei der Verschiedenheit der Ausgangspunkte dieser Theorien erscheint Ihnen

dieser Ausspruch vielleicht merkwürdig. Aber das was Drude unter einem Erklärungssystem versteht, das sind die Differentialgleichungen und Grenzbedingungen, aus denen durch Integration der Komplex der betrachteten Erscheinungen abgeleitet werden kann. Diese Differentialgleichungen müssen natürlich, wenn sie richtig sein sollen, in den verschiedenen Theorien übereinstimmen, und sie sind richtig, wenn ihre Konsequenzen sich in der Erfahrung bestätigen. Ob diese Differentialgleichungen willkürlich, probeweise angesetzt oder ob sie durch rationelle Überlegungen aus physikalischen Vorstellungen hergeleitet sind, das ist für ihre Richtigkeit und Gültigkeit ganz gleichgültig. Diese Deduktion Drudes erinnert an den Hertzschen Ausspruch: Die Maxwellsche Theorie sind die Maxwellschen Differentialgleichungen. Aber es ist doch wohl weniger dieser Ausspruch von Hertz, als vielmehr der Einfluß der Schule, aus der Drude hervorgegangen war, der sich in den genannten Ausführungen widerspiegelt.

Als ein unmittelbares Beispiel dieser Auffassung erscheint eine theoretische Arbeit Drudes, die er in demselben Jahre veröffentlichte, und die ich ihrer Wichtigkeit wegen nicht unerwähnt lassen möchte. Kerr hatte gefunden, daß die Gesetze der Reflexion des Lichtes an Eisen-, Kobalt- und Nickelspiegeln durch die Magnetisierung beeinflußt werden, und Kundt hatte die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes in dünnen Schichten dieser Metalle beobachtet. Zur Erklärung dieser Erscheinungen war eine ganze Reihe verschiedenartiger Ansätze gemacht worden, die sämtlich nicht genügten. Drude zeigte, daß man durch Hinzufügung gewisser Glieder zu

dem ersten Tripel der Maxwellschen Gleichungen ein System von Gleichungen erhält, aus dem sich die Erscheinungen vollkommen richtig ableiten lassen, also ein in seinem Sinne richtiges System von Differentialgleichungen. Aber welche physikalische Bedeutung jene Zusatzglieder haben würden, diese Frage hat er damals gar nicht erörtert.

Es würde indessen nicht richtig sein, wenn wir aus diesen Arbeiten den Schluß ziehen wollten, daß es Drude bei einem solchen Problem nur auf die mathematische Formulierung angekommen wäre. Daß ihn diese rein mathematische Behandlung nicht befriedigte, geht aus verschiedenen Stellen in den Arbeiten der nächsten Jahre hervor; denn wiederholt betont er die Unmöglichkeit des vollständigen physikalischen Verständnisses der durch seine Gleichungen ausgedrückten Beziehung. Nach Jahren sehen wir ihn in einer kurzen Mitteilung in der Physikalischen Gesellschaft in Berlin auf das Problem zurückkommen; dieses Mal deutet er die Vorstellungen an, von denen aus man zu einer rationellen Aufstellung jener Gleichungen gelangen könnte, und ein Jahr später gibt er in seinem Lehrbuch der Optik die vollständige Ausführung dieser Ideen. Hier werden die Gleichungen aus der Annahme von Jonenladungen in Körpermolekülen und aus dem Einfluß, den das magnetische Feld und die Lichtschwingungen gleichzeitig auf diese Jonenladungen ausüben, von vornherein abgeleitet.

Ich habe die Entwicklung dieses Spezialproblems bei Drude kurz skizziert, weil der Gegensatz der früheren und der späteren Behandlung dieses Themas mir besonders kennzeichnend für die Richtung zu sein scheint,

in der Drudes wissenschaftliche Entwicklung vor sich gegangen ist. Lassen Sie uns des Näheren zusehen, wie sie sich allmählich vollzog.

Zunächst gaben ihm seine Vorlesungen Gelegenheit, sich in die Hertzschen Versuche und die Maxwellsche Theorie gründlich einzuarbeiten. Er hatte sich 1890 in Göttingen habilitiert. Im Sommersemester 1892 las er über elektrische Schwingungen und im darauffolgenden Wintersemester über elektrische Lichttheorie. Aus diesen Vorlesungen ging sein erstes Buch hervor, als ein Zeugnis des begeisterten Interesses, mit dem er sich in das Studium dieser neuen Erfahrungen und der neuen Fassung alter Erfahrungen vertieft hatte. Drudes Physik des Äthers, die 1894 erschien, ist ohne Zweifel ein außerordentlich glücklicher Griff gewesen. Es war das erste deutsche Lehrbuch, das, auf dem Boden der neuen Lehre stehend, das ganze Gebiet der Elektrizität und Optik auf gemeinschaftlicher elektromagnetischer Grundlage darstellte, und diese Darstellung gab Drude in einer außerordentlich einfachen mathematischen Formulierung, in einer klugen Beschränkung auf das Wichtigste in der Auswahl der behandelten Probleme, vor allem aber in einer höchst eindringlichen Hervorkehrung des prinzipiellen Unterschiedes der neuen und der alten Lehre, d. h. des Standpunktes, daß wir die elektrischen und magnetischen Wirkungen als Wirkungen von Teilchen zu Teilchen, als Nahewirkungen im Gegensatz zur alten Lehre von den Fernwirkungen aufzufassen haben. Durch diese Eigenschaften ist das Drudesche Buch für das Eindringen der neuen Lehre in unsere Hochschulen, für die Verbreitung des Interesses und Verständnisses für die

neue Auffassung bei Lehrenden sowohl wie Lernenden ohne Frage von großer Bedeutung gewesen.

Das Erscheinen dieses Buches bildet gewissermaßen den Abschluß der Göttinger Zeit Drudes. Unmittelbar darnach wurde er nach Leipzig berufen und hat dort vom Wintersemester 1894/95 bis zum Sommersemester 1900 einschließlich als Extraordinarius für theoretische Physik gewirkt. Seine Vorlesungen umfaßten in dieser Zeit in einem viersemestrigen Zyklus das ganze Gebiet der theoretischen Physik; daneben pflegte er noch in den Sommersemestern eine einstündige Vorlesung über Kapitel der Elektrotechnik zu halten.

Mit den neuen Verhältnissen begann ein neues Leben. Seine Stellung erlaubte ihm, sich einen Hausstand zu gründen, und nun begann während der Leipziger Zeit um ihn herum jenes glückliche Familienleben zu erblühen, dessen Zeugen später die Gießener Freunde fünf Jahre lang sein durften.

Und mit dem neuen Leben begann eine neue Kette wissenschaftlicher Arbeiten, die in ununterbrochener Folge die ganze Leipziger Zeit ausgefüllt haben. Der Kreis der optischen Probleme, die ihn bis dahin vorwiegend interessiert hatten, erweiterte sich ihm auf das Gebiet der elektrischen Wellen. Es war das ja in der Tat nur eine Erweiterung, da nach der neuen Auffassung Lichtwellen und elektrische Wellen gleichartige Erscheinungen sind, nur unterschieden durch die Dauer der Schwingungen, von denen sie ausgehen. Maxwell hatte aus der elektromagnetischen Theorie des Lichtes die Beziehung abgeleitet, daß die Dielektrizitätskonstante eines Isolators gleich dem Quadrat seines Brechungsexponenten sein sollte. Es lag

auf der Hand, daß dieser Satz für die Lichtwellen nicht stimmte. Es gibt ja nur eine Dielektrizitätskonstante, wie man sie etwa aus Kondensatorversuchen auf elektrostatischem Wege bestimmen kann, und es gibt unendlich viele Brechungsexponenten, für jede Lichtart einen anderen. Man bezeichnet bekanntlich diese Eigenschaft der Körper, Licht von verschiedener Schwingungsdauer verschieden stark zu brechen, oder die Tatsache, daß Licht verschiedener Art, das im leeren Raum die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit besitzt, sich in der Materie mit verschiedenen Geschwindigkeiten fortpflanzt, als Farbenzerstreuung oder Dispersion. Diese Erscheinung fügte sich nicht in die gewöhnliche Lichttheorie, weder in die elastische noch in die elektrische. Beide Theorien hatten dafür besonderer Erweiterungen bedurft, Erweiterungen, die darin bestanden, daß man die Vorstellungen der Molekulartheorie hinzunahm, und sich Eigenschwingungen der Moleküle oder der Atome in den Molekülen dachte, die durch die auffallenden Ätherwellen erregt werden und deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit beeinflussen sollten. Dieser zuerst von Sellmeier ausgesprochene Gedanke ist besonders von Helmholtz, sowohl auf elastischer als auf elektromagnetischer Grundlage ausgearbeitet worden. Als durch Hertz das Gebiet der langen Ätherwellen, der sogenannten elektrischen Wellen erschlossen wurde, entstand naturgemäß die Frage: Haben die Ursachen, welche die Dispersion der Lichtwellen hervorrufen, auch noch Einfluß auf die elektrischen Wellen, so daß auch deren Fortpflanzungsgeschwindigkeit noch immer von der Schwingungsdauer abhängt, oder nicht? Ist auch der elektrische Brechungsexponent, d. h. das

Verhältnis der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im leeren Raum zu der in dem betreffenden Körper, eine Funktion der Wellenlänge, oder nicht? Es kam also darauf an, für elektrische Schwingungen verschiedener Schwingungsdauern die zugehörigen Wellen mit möglichster Genauigkeit zu messen. Mit dieser Aufgabe hatte sich Drude schon in Göttingen zu beschäftigen angefangen; bald nach seiner Übersiedelung nach Leipzig veröffentlichte er die ersten Resultate seiner Untersuchungen; er hat sich dann weiter bis 1898 andauernd mit diesem Thema beschäftigt und hat in dieser Zeit eine große Zahl, zum Teil sehr umfangreicher Untersuchungen zu diesem Gegenstande veröffentlicht. Der Inhalt dieser Arbeiten ist ein dreifacher.

Erstens galt es eine möglichst exakte und möglichst bequeme experimentelle Methode für die Messung der Wellenlängen auszuarbeiten. Drude bediente sich des bekannten Lecherschen Systems der Paralleldrähte, auf denen er die elektrischen Wellen mit Hülfe eines Blondlotschen Erregers erzeugte. Er leitete die Drähte durch die zu untersuchende Flüssigkeit hindurch und ermittelte die Resonanzlagen der Brücke; ihre Abstände einerseits in Luft andererseits in der Flüssigkeit ergaben direkt die halben Wellenlängen der benutzten elektrischen Schwingung in der Luft und in der Flüssigkeit, und deren Verhältnis lieferte den gesuchten Brechungsexponenten. So konnte dieser ganz direkt für alle Flüssigkeiten bestimmt werden, die sich in genügender Menge beschaffen ließen, um den Trog, durch den die Drähte hindurchgingen, zu füllen. Um aber die Messungen auch auf feste Körper und auf Flüssigkeiten, die nur in geringer Menge vorhanden

waren, ausdehnen zu können, bildete er eine zweite Methode in sehr geschickter Weise aus. Er legte an die Enden der Paralleldrähte einen winzigen Kondensator, der sich in einem Glaskölbchen befand. Durch Verlängern oder Verkürzen des Drahtsystems mit Hülfe eines posaunenartigen Auszuges konnte das System auf Resonanz eingestellt werden. Wurde der Kondensator mit einer Flüssigkeit gefüllt, so änderte sich seine Kapazität und damit seine Resonanzeinstellung. Mit Hülfe derjenigen Flüssigkeiten, deren Brechungsexponenten nach der ersten Methode bereits bestimmt waren, konnte der Apparat geeicht und nun für die Messung beliebiger anderer Substanzen verwendet werden. Aus vielfachen Umwandlungen der ursprünglichen Versuchsanordnung ist schließlich ein Apparat von einer ganz außerordentlichen Handlichkeit hervorgegangen, der heute als „Apparat von Drude zur Messung der Dielektrizitätskonstanten“ in allen Laboratorien Eingang gefunden hat.

Das Zweite war die theoretische Prüfung der Methode und ihrer Fehlerquellen. In einem umfangreichen Hefte der Abhandlungen der sächsischen Akademie hat er die Theorie der Ausbildung stehender Wellen auf einem Lecherschen Drahtsystem, die Rolle der Brücke und ihrer Länge, den Einfluß des Drahtmaterials u. a. in schwierigen Rechnungen mit einer Gründlichkeit und Sorgfalt durchgearbeitet, die uns wohl an seines Großlehrers, wenn ich so sagen darf, Franz Neumanns eingehende theoretische Studien über die Methode der Bestimmung spezifischer Wärmen durch Mischung erinnern kann.

Das Dritte aber waren die Resultate; diese waren

von großem Interesse und rechtfertigten die Mühe, die er sich mit der Ausarbeitung der Methode gegeben hatte. Er fand, daß im Gebiete der elektrischen Wellen eine Anzahl von Körpern gar keine oder vielleicht eine sehr geringe Dispersion von normalem Charakter besitzen, d. h. eine geringe Zunahme des Brechungsexponenten mit abnehmender Schwingungsdauer; aber er fand eine ganze Reihe von Körpern mit ausgesprochen anomaler Dispersion, d. h. einem Abnehmen des Brechungsexponenten mit abnehmender Schwingungsdauer. Er fand ferner, daß diese Anomalien an das Vorkommen bestimmter Molekülgruppen, so der OH-Gruppe, geknüpft sind, und daß man aus dem Auftreten dieser Anomalien Schlüsse auf die chemische Konstitution ziehen kann, ähnlich wie aus der Molekularrefraktion. Aber noch mehr! Er untersuchte nicht bloß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, sondern auch die Absorption der elektrischen Wellen. Das war ein noch schwierigeres Problem, das seine endgültige Lösung in einer einfachen, direkten Messungsmethode bis heute noch nicht gefunden hat. Aber Drude überwand mit großem Geschick diese Schwierigkeit und verstand es, Beobachtungen, die eigentlich ihrer Natur nach qualitativer Art waren, zu Schätzungen und vergleichenden Messungen der Absorptionskoeffizienten zu verwerten. Und auch hier erhielt er sehr interessante Ergebnisse. Vom Standpunkte der elektromagnetischen Theorie ist die Absorption bedingt durch die Leitfähigkeit. Je besser ein Stoff die Elektrizität leitet, um so stärker absorbiert er die elektrischen Wellen, die auf ihn fallen. Drude konnte bestätigen, daß in der Tat die Absorption von Salzlösungen ihrer Leitfähigkeit entsprach; aber er fand andere Stoffe, die eine viel größere

Absorption besaßen, als sie nach ihrer Leitfähigkeit hätten besitzen dürfen; diese anomale Absorption trat an denselben Stoffen auf, an denen er die anomale Dispersion gefunden hatte.

Diese Versuchsergebnisse waren insofern auffallend und unerwartet, als nach den oben erwähnten Dispersionstheorien die anomale Dispersion nur beim Durchgang durch die Periode der Eigenschwingungen der kleinsten Körperteilchen eintritt, während doch die Schwingungsdauern der von Drude benutzten elektrischen Schwingungen weit außerhalb der Periode der denkbaren, viel kürzeren Eigenschwingungen lagen. Die Erklärung der gefundenen Erscheinungen bedurfte also einer besonderen theoretischen Überlegung. Drude gab auch diese in einer Arbeit, die gewissermaßen — nicht zeitlich, aber gedanklich — den Abschluß dieser ganzen Untersuchungsreihe bildete; er führte darin den Gedanken aus, daß die Annahme einer sehr starken Dämpfung der Eigenschwingungen, deren Periode im übrigen unendlich klein genommen werden kann, genügt, um einen Einfluß dieser Eigenschwingungen im Sinne der beobachteten Tatsachen zu ergeben. —

Die Grundlage der elektromagnetischen Theorie der Dispersion war die Vorstellung, daß die kleinsten Teile der Körper sich aus positiv und negativ geladenen Atomen oder Atomgruppen aufbauen, und daß ihre Eigenschwingungen von dem Lichte erregt werden infolge der bewegenden Kräfte, welche diese elektrischen Ladungen seitens der elektrischen Kräfte der Lichtschwingungen erfahren. Bei einem Isolator sollten die elektrisch geladenen Teilchen feste Gleichgewichtslagen haben, um

die sie schwingen; bei einem Leiter sollten sie frei beweglich sein. Gerade in bezug auf die Vorstellung von der Natur dieser Ladungen taten die elektrischen Theorien in den letzten Jahren des vergangenen Jahrhunderts einen neuen bedeutsamen Schritt vorwärts. Aus den Untersuchungen über die Natur der Kathodenstrahlen und aus den Entdeckungen Becquerels und anderer an den sogenannten radioaktiven Substanzen entwickelte sich die Vorstellung, daß die elektrischen Ladungen, die man sich bisher an Atomen oder Atomgruppen, bei den elektrolytischen Jonen z. B. an jeder Valenz als Elementarquanten von gleicher Größe, haftend dachte, auch als freie elektrische Ladungen, als selbständig existierende elektrische Atome oder Elektronen auftreten können. Die größten Erfolge hat diese Vorstellung ja ohne Frage auf dem Gebiet der Gasentladungen errungen. Aber sie enthielt doch auch zugleich für alle Spekulationen, die man über den Aufbau der Materie zur Erklärung ihrer physikalischen Eigenschaften anstellen kann, einen neuen Gedanken von größter Fruchtbarkeit. Vor allem löste die Vorstellung von Elektronen die fundamentale Schwierigkeit, die sich bisher einer Theorie der elektrischen und optischen Eigenschaften der Metalle entgegengestellt hatte. Daß auch in den Metallen, ebenso wie in den Elektrolyten, der Vorgang der Elektrizitätsleitung ein konvektiver sei, dieser Gedanke war schon von W. Weber und später von Giese ausgeführt worden. Aber so lange man mit Jonen, d. h. mit geladenen Masseteilchen operierte, widersprach dieser Auffassung die Tatsache, daß ein Massentransport, wie bei den Elektrolyten, bei den Metallen nicht stattfindet. Sobald aber nun an die Stelle der Jonen die

von Materie freien elektrischen Ladungen, die Elektronen, gesetzt werden konnten, war dieses Hindernis überwunden.

In diesen Gedankenkreis wurde auch Drude von seinen elektrisch-optischen Untersuchungen aus hinübergeleitet und bald war er einer der eifrigsten und erfolgreichsten Vertreter und Förderer der „Elektronentheorie". Der nächste Berührungspunkt mit seinen Arbeiten lag auf dem Gebiet der Metalloptik. Er suchte die von ihm einst mit so großer Sorgfalt bestimmten optischen Konstanten der Metalle mit ihren elektrischen Eigenschaften auf Grund der Elektronentheorie in Beziehung zu setzen. Aber er fand dabei, daß für manche Metalle die Vorstellung freibeweglicher Elektronen zur Erklärung der optischen Eigenschaften nicht ausreichte, daß man vielmehr die Annahme von Elektronen, die an gewisse Gleichgewichtslagen gebunden wären, hinzunehmen müßte, um eine richtige Formulierung der Erscheinungen zu gewinnen. Dann aber reichten die optischen Eigenschaften wiederum nicht aus, um diese Verhältnisse in den Metallen eindeutig festzustellen; es war erforderlich, auch die elektrischen und thermischen Eigenschaften der Metalle in die Betrachtung einzubeziehen und aus den gleichen Grundlagen abzuleiten. Der Versuch einer solchen Theorie bildete den Inhalt der beiden großen Abhandlungen „Zur Elektronentheorie der Metalle", die Drude im Jahre 1900 veröffentlichte. Er war nicht der Erste, der diesen Versuch unternahm, aber die Art, wie er das Problem anfaßte, ist bei aller Kompliziertheit der Formeln, zu denen er schließlich gelangt, doch eine besonders einfache und anschauliche. Er wendet nämlich auf diese Elektronen, die sich vollkommen frei zwischen den Atomen der Metalle bewegen sollen, die

bekannten Grundsätze der kinetischen Gastheorie an. Es würde zu weit führen, auf die Verfolgung dieses Gedankens näher einzugehen. Aber das glaube ich von diesen Arbeiten und von einer dritten Arbeit zur Elektronentheorie, die er später in Gießen verfaßte, sagen zu dürfen, daß sie wohl ohne Zweifel die wichtigsten und bedeutendsten Arbeiten sind, die uns Drude hinterlassen hat. Denn diese Abhandlungen enthalten in einem vorläufigen Entwurfe eine umfassende Theorie, die ebensosehr der experimentellen Prüfung ihrer Ergebnisse, wie der strengeren Ausgestaltung und Weiterbildung ihres ganzen Gedankenganges bedarf. Nach beiden Richtungen hin bietet sie eine Fülle von Problemen, in deren Bearbeitung Drude eine der Aufgaben seines Lebens sah, wie er es noch kurz vor seinem Tode in seiner Antrittsrede vor der Berliner Akademie ausgesprochen hat. Nun fällt die endgültige Lösung dieser Probleme anderen zu; aber sein Name wird mit ihnen und mit der Geschichte der Elektronentheorie immer verbunden bleiben als der Name eines der befähigtsten und ideenreichsten Vertreter dieser jüngsten Entwicklungsphase der elektrischen Theorien.

In demselben Jahre, 1900, in dem er diese Arbeiten veröffentlichte, erschien zugleich sein zweites größeres Werk, sein Lehrbuch der Optik. Es war ein sehr verdienstlicher Gedanke des Verlegers Hirzel, ein solches Lehrbuch von Drude zu erbitten; denn erstens gab es kein Lehrbuch der modernen Optik und zweitens konnte er sich wahrlich an keinen besseren als an Drude mit dieser Bitte wenden. Wir haben ja gesehen, wie er nach den verschiedensten Richtungen hin sich in dieses Gebiet hineingearbeitet hatte. Er übernahm die Auf-

gabe mit großer Freude; es lockte ihn ebensosehr die Gesamtheit seiner Forschungen einmal als einheitliches Ganzes vortragen zu können, wie er sich andererseits von der strengen Durcharbeitung des ganzen Gebietes erneute Anregung für sich selber versprach. Er übernahm die Aufgabe und er löste sie, man kann wohl sagen, meisterhaft. Drudes Optik ist ein Lehrbuch, dem wir kaum ein zweites an die Seite zu stellen haben. Schon jetzt — nach so wenigen Jahren — ist eine Neuauflage erforderlich geworden, und es ist in der Trauer um alles das, was in diesem reichen Gelehrtenleben unvollendet bleibt, wirklich noch ein tröstlicher Gedanke, daß wir wenigstens die zweite Auflage seiner Optik noch vollständig aus seiner Hand erhalten werden.

Blicken wir zurück auf die wissenschaftlichen Leistungen Drudes von seiner Promotion an bis zum Jahre 1900 und nehmen wir zu dem, was ich Ihnen darüber andeuten konnte, noch hinzu, daß umfangreiche Artikel des großen Winkelmannschen Handbuches ebenfalls aus seiner Feder stammten, so können wir nur staunen über die Fülle wissenschaftlicher Arbeiten, die er in diesen dreizehn Jahren produziert hat. Das war eben nur einem Manne möglich, der sein Wissen so zur Hand hatte wie er, der über die mathematischen und experimentellen Hilfsmittel so sicher verfügte, und der mit der energischen Entschlossenheit, mit der er jedem Problem, das ihm entgegentrat, ohne weiteres zu Leibe ging, eine solche Ausdauer in der Arbeit und eine solche Konzentration des Denkens verband. Wenn er 1897 mit dem Referat über Fernewirkungen für die Naturforscher-Versammlung in Braunschweig beauftragt wurde, und wenn

er drei Jahre später für den internationalen Physiker-Kongreß in Paris das Referat über die Theorie der Dispersion in den Metallen zu erstatten hatte, so sprach sich in diesen Aufträgen das Ansehen und die Anerkennung aus, die seine intensive wissenschaftliche Arbeit bei seinen Fachgenossen gefunden hatte. Eine besondere Anerkennung aber nicht bloß seiner wissenschaftlichen Leistungen, sondern auch seiner persönlichen Tüchtigkeit und Liebenswürdigkeit war es, daß er nach dem Tode Wiedemanns zum Redakteur der Annalen ausersehen wurde. Er hat auch diese Tätigkeit mit Freude übernommen, mit Takt und Umsicht ausgeübt und hat trotz aller Arbeit, die sie ihm bereitete, mit besonderer Vorliebe an ihr gehangen. Am 1. Januar 1900 trat er das neue Amt des Redakteurs an. Wenige Monate später erhielt er den Ruf an unsere Hochschule. Im Frühjahr siedelte er nach Gießen über und trat damit in die schönste und glücklichste Epoche seines Lebens ein. Ich brauche sie Ihnen nicht zu schildern. Sie haben diese Zeit mit ihm erlebt. Lassen Sie mich nur von seinen Arbeiten sprechen.

Es trat in seinen Veröffentlichungen nach seiner Übersiedelung eine kurze Pause ein. Es war keine Ruhepause; denn Sie wissen, er konnte nicht rasten. Auch Erholung suchte er nur immer in einer Veränderung der Arbeit. Was aber in jener ersten Gießener Zeit seine Kraft vorübergehend von wissenschaftlicher Arbeit abzog, das war das eigene große Institut, das er nun zum ersten Male in voller Selbständigkeit zu leiten hatte. Er übernahm das Institut als einen fertigen Bau, aber die innere Ausgestaltung war sein Werk, dem er sich

mit demselben feurigen Eifer widmete, mit dem er bisher seinen wissenschaftlichen Arbeiten obgelegen hatte. Für die Bedeutung, die er dem Lehren und Lernen in der großen Vorlesung über Experimentalphysik beimaß, ist es bezeichnend, daß er seinen Vortrag nicht bloß durch eine vortreffliche Auswahl guter Versuche unterstützte, sondern außerdem den hauptsächlichsten Inhalt des Gesagten in Form von Leitsätzen, die auf großen Tafeln an diesen Wänden aufgehängt wurden, seinen Hörern eindringlich vor Augen führte und ins Gedächtnis rief. Vor allem aber schuf er in diesem Institut ein Praktikum, wie es in der Reichhaltigkeit der Aufgaben, besonders der schwierigeren Aufgaben der Optik und Elektrizitätslehre und in der sorgfältigen Ausarbeitung jeder einzelnen von ihnen außer an sehr großen Instituten kaum zu finden sein dürfte.

Nicht lange und er begann die eifrige wissenschaftliche Arbeit von neuem, sekundiert von der Mitarbeit der Assistenten und Schüler, die zum Teil aus dem Auslande durch Drudes Ruf als Lehrer und Forscher nach Gießen herangezogen wurden. Vor allem beschäftigte ihn die Weiterführung der Elektronentheorie. Im Jahre 1904 erschien jene dritte große Abhandlung zu diesem Gegenstande, die ich oben bereits erwähnt habe; es war jene Arbeit, deren Resultate er einst in diesem Kolloquium in der packenden Weise vortrug, wie es Kollege Richarz uns vorhin geschildert hat. Hier wendet er die Elektronentheorie vor allem auf die durchsichtigen Körper an. Indem er sie mit der elektromagnetischen Theorie der Dispersion verknüpft, gelingt es ihm die Frage zu beantworten, welcher Art die elektrischen Ladungen sind, die

mit ihren Eigenschwingungen die Gestalt der Dispersionskurve bedingen; er findet, daß die ultravioletten Eigenschwingungen von negativen Elektronen, die ultraroten von positiv geladenen ponderablen Massen erzeugt werden, und er macht sofort von diesem Resultate die höchst interessante Anwendung, das Verhältnis von Ladung zu Masse für die Elektronen aus der Dispersion zu berechnen. Das ist möglich für jede Substanz, die nur eine ultraviolette Eigenschwingung besitzt; eine solche Substanz ist der Wasserstoff. Aus seiner Dispersion berechnet er für jenes Verhältnis einen Wert, der in der Tat sehr nahe übereinstimmt mit den Werten, die aus Beobachtungen an Kathodenstrahlen gefunden worden waren. Das ist eines der interessantesten Resultate dieser Arbeit. Ein anderes, die Beziehungen der Elektronen zur Valenz, hat Kollege Richarz vorhin schon angedeutet. Ich muß es mir versagen, noch mehr aus diesem Aufsatze mitzuteilen. Aber das Gesagte wird genügen, Ihnen eine Vorstellung davon zu geben, was für wichtige, beziehungsreiche Ergebnisse in dieser Arbeit enthalten sind.

Neben der Beschäftigung mit diesen Fragen sehen wir sein Interesse einem neuen Thema zugewandt. Bei den Arbeiten mit den elektrischen Wellen hatte er sich des Teslatransformators bedient. Bei diesem Apparate werden elektrische Schwingungen nicht auf einem geradlinig ausgespannten, sondern auf einem spulenförmig aufgewickelten Draht erzeugt, der entweder frei endigt, oder an den gerade Drähte oder Metallplatten, die als Kapazitäten wirken, angehängt sind. Das Problem, wie auf solchen Spulen die elektrischen Schwingungen verlaufen, wie die Spulen zu bemessen sind, um Resonanz

und damit möglichst starke Effekte zu erzielen, dieses Problem war nicht bloß für die wissenschaftlichen Arbeiten, bei denen man sich häufig derartiger Transformatoren bedient, von Interesse, sondern in noch höherem Maße für die praktischen Anwendungen der elektrischen Schwingungen in der drahtlosen Telegraphie. Hier hängen die Antennen, die die elektrischen Wellen in den Raum hinaussenden, an den Enden der Sekundärspulen eines Teslatransformators. Für die Leistungsfähigkeit des Apparates ist es von höchster Wichtigkeit, die Schwingungen auf diesen Drähten in möglichster Reinheit, möglichster Intensität und möglichst geringer Dämpfung zu erregen. Die Bedingungen hierfür zu suchen, war Drudes Ziel. Er veröffentlichte in den Jahren 1902—04 in seinen Annalen vier umfangreiche Arbeiten zu diesen Fragen, in denen er sein experimentelles Geschick und die für ihn so charakteristische Unerschrockenheit ebenso vor langwierigen Versuchen wie vor umständlichen Rechnungen aufs neue bewährte.

Da kam der Ruf nach Berlin. Seine Tüchtigkeit, seine Arbeitsfähigkeit sollten dem ersten und vornehmsten Lehrstuhl der Physik in Deutschland zugute kommen. Ungern unterbrach er seine Forschungen, ungern verließ er sein geliebtes Gießen. Aber er hielt die Annahme dieses Rufes für eine Pflicht, der er sich nicht entziehen durfte, für eine Pflicht gegenüber dem Vertrauen zu seiner Persönlichkeit und seiner Leistungsfähigkeit, das in dieser Berufung zum Ausdruck kam. Ostern 1905 trat er sein neues Amt an und stürzte sich mit Anspannung aller seiner Kräfte in die Bewältigung der Aufgaben, die es ihm stellte. Es galt ja zunächst die ganzen Ein-

richtungen des großen Instituts, den ganzen übergroßen Lehr- und Dienstbetrieb kennen zu lernen, nach seinem Sinne umzugestalten und sich dienstbar zu machen. Mit immer gesteigerter Rastlosigkeit hat er daran gearbeitet, um die Zeit des Einlebens in die neuen Verhältnisse so schnell wie möglich zu überwinden, und wieder Zeit zur Fortsetzung seiner wissenschaftlichen Untersuchungen zu gewinnen. Mit welchen klaren, zielbewußten Plänen für die Weiterführung seiner Arbeiten er sich trug, das erfährt man aus der schon mehrfach erwähnten Rede, die er bei seiner Aufnahme in die Berliner Akademie am 28. Juni dieses Jahres gehalten hat. Es ahnte niemand, daß es seine Abschiedsrede war. Nur mit tiefer Wehmut können wir heute diese letzte seiner Veröffentlichungen lesen. Nicht von seinen früheren, nur von seinen künftigen Arbeiten spricht er darin. Nicht als eine Anerkennung seiner bisherigen Leistungen empfindet er seine Wahl zum Mitgliede der Königlichen Akademie, sondern nur als Ausdruck des Vertrauens für Leistungen in der Zukunft. Denn er war von Grund aus ein bescheidener Mensch, frei von jeder Überhebung. Aber wenn er in derselben Rede sagt, er empfinde das Gefühl der Beklemmung, ob er durch Anspannung aller seiner Kräfte den an ihn gestellten Aufgaben gewachsen sein würde, so klingt doch wohl aus der Zaghaftigkeit dieser Worte schon jenes Sinken seines Selbstvertrauens und seines Lebensmutes heraus, das sich acht Tage später bis zu völligem Erlöschen steigerte und damit zu der schrecklichen Katastrophe führte.

Wir wollen nicht bei diesem traurigen Abschluß seines Lebens verweilen. Lassen Sie uns vielmehr sein Bild in

der ganzen Frische seines Geistes und seines Körpers festhalten und in liebevollem und dankbarem Gedächtnis bewahren. Keine Stätte hat so sehr das Recht und die Pflicht und das Bedürfnis, sein Andenken hoch zu halten, wie die Universität Gießen und dieses Institut. Denn hier stand er auf der Höhe seines Wirkens, hier gab er sein Bestes nach allen Seiten und hier war sein Herz heimisch bis zu seinem Tode.

Zur Vervollständigung der in der vorstehenden Rede enthaltenen Übersicht über die wissenschaftlichen Leistungen Paul Drudes, die sich auf das Wichtigste beschränken mußte, geben wir im folgenden eine Zusammenstellung der Titel seiner sämtlichen Veröffentlichungen in zeitlicher Ordnung, ferner eine Übersicht über die wichtigsten Arbeiten, die von seinen Schülern unter seiner Leitung oder auf seine Anregung hin in seinem Institute ausgeführt worden sind.

Über die Gesetze der Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze absorbierender Kristalle. (Diss. Göttingen, 47 Seiten, Metzger & Wittig, Leipzig, 1887. Wied. Ann. **32**, S. 584—625, 1887.)

Ein Satz aus der Determinanten-Theorie. (Göttinger Nachrichten 1887, S. 118—122.)

Beobachtungen über die Reflexion des Lichtes am Antimonglanz. (Wied. Ann. **34**, S. 489—531, 1888.)

Über das Verhältniss der Cauchy'schen Theorie der Metallreflexion zu der Voigt'schen. (Wied. Ann. **35**, S. 508—523, 1888.)

Über die Absorption des Lichtes in monoklinen Kristallen. (Zeitschr. für Kristallographie und Mineralogie **13**, S. 567—576, 1888.)

Über Oberflächenschichten. (Göttinger Nachrichten 1888, S. 275—299. Wied. Ann. **36**, S. 532—560; 865—897, 1889.)

Über die Reflexion des Lichtes an Kalkspat. (Wied. Ann. **38**, S. 265—287, 1889.)

Bestimmung der optischen Konstanten der Metalle. (Wied. Ann. **39**, S. 481—554, 1890.)

Das Verhalten der Absorptionskoeffizienten von Kristallen. (Wied. Ann. **40**, S. 665—680, 1890.)

Bemerkungen zu der Arbeit des Herrn O. Wiener: „Stehende Lichtwellen und die Schwingungsrichtung polarisierten Lichtes.“ (Wied. Ann. **41**, S. 154—160, 1890.)

Über die Reflexion und Brechung ebener Schallwellen an der Grenze zweier isotroper mit innerer Reibung behafteter Medien. (Wied. Ann. **41**, S. 759—769, 1890.)

Entfernungsmesser für Infanterie. (Zeitschr. für Instrumentenkunde **10**, S. 323—326, 1890.)

[In Gemeinschaft mit Voigt.] Bestimmung der Elastizitätskonstanten einiger dichter Mineralien. (Göttinger Nachrichten 1889, S. 519—530; 1890, S. 542—549. Wied. Ann. **42**, S. 537—549, 1891.)

[In Gemeinschaft mit Nernst.] Einfluß der Temperatur und des Aggregatzustandes auf das Verhalten des Wismuts im Magnetfelde. (Göttinger Nachrichten 1890, S. 471—481. Wied. Ann. **42**, S. 568—580, 1891.)

Bestimmung der optischen Konstanten des Kobalts. (Wied. Ann. **42**, S. 186—190, 1891.)

Über die Brechung des Lichtes durch Metallprismen. (Wied. Ann. **42**, S. 666—673, 1891.)

Über die Reflexion und Brechung ebener Lichtwellen beim Durchgang durch eine mit Oberflächenschichten behaftete planparallele Platte. (Wied. Ann. **43**, S. 126—157, 1891.)

Über die Größe der Wirkungssphäre der Molekularkräfte und die Konstitution von Lamellen der Plateauschen Glycerin-Seifen-Lösung. (Göttinger Nachrichten 1890, S. 482—490. Wied. Ann. **43**, S. 158—176, 1891.)

Zur Schwingungsrichtung des polarisierten Lichtes. (Wied. Ann. **43**, S. 177—180, 1891.)

[In Gemeinschaft mit Nernst.] Über die Fluoreszenzwirkungen stehender Lichtwellen. (Göttinger Nachrichten 1891, S. 346—358. Wied. Ann. **45**, S. 461—471, 1892.)

In wieweit genügen die bisherigen Lichttheorien den Anforderungen der praktischen Physik? (Göttinger Nachrichten 1892, S. 366—412.)

Über magnetooptische Erscheinungen. (Wied. Ann. **46**, S. 353—422, 1892.)

Nachtrag zu dem Aufsatze: „Bemerkungen zu der Arbeit des Herrn O. Wiener: Stehende Lichtwellen und die Schwingungsrichtung polarisierten Lichtes". (Wied. Ann. **48**, S. 119—121, 1893.)

Über die Berechnung magnetooptischer Erscheinungen. (Wied. Ann. **48**, S. 122—126, 1893.)

Über die Beziehung der Dielektrizitätskonstanten zum optischen Brechungsexponenten. (Göttinger Nachrichten 1893, S. 82—91. Wied. Ann. **48**, S. 536—545, 1893.)

Zur Theorie der magnetooptischen Erscheinungen. (Wied. Ann. **49**, S. 690—697, 1893.)

Zur Lichttheorie. (Wied. Ann. **50**, S. 381—383, 1893.)

Über die Phasenänderung des Lichtes bei der Reflexion an Metallen. (Wied. Ann. **50**, S. 595—624, 1893; **51**, S. 77—104, 1894.)

Berichtigung und Nachtrag zu meiner Notiz: „Zur Theorie magnetooptischer Erscheinungen". (Wied. Ann. **52**, S. 496—498, 1894.)

Zur Demonstration der Hertzschen Versuche. (Wied. Ann. **52**, S. 499—508, 1894.)

[In Gemeinschaft mit Nernst.] Über Elektrostriktion durch freie Jonen. (Zeitschr. für phys. Chem. **15**, S. 79—85, 1894.)

Über die elliptische Polarisation des an durchsichtigen Körpern reflektierten Lichtes. (Wied. Ann. **53**, S. 69—77, 1894.)

Zum Studium des elektrischen Resonators. (Göttinger Nachrichten 1894, S. 189—223. Wied. Ann. **53**, S. 721—768, 1894.)

Physik des Äthers auf elektromagnetischer Grundlage. 590 Seiten. F. Enke, Stuttgart, 1894.

Winkelmanns Handbuch der Physik. Bd. II. 1. Optik. I. Auflage. 1894. S. 623—840:

Die Natur des Lichtes.
Theorie des Lichtes für durchsichtige Medien.
Theorie der anomalen Dispersion.
Doppelbrechung.
Übergang des Lichtes über die Grenze zweier Medien.
Rotationspolarisation.
Gesetze der Lichtbewegung für absorbierende Medien.
Polarisation des gebeugten Lichtes.

Untersuchungen über die elektrische Dispersion. (Wied. Ann. **54**, S. 352—370, 1895.)

Eine bequeme Methode zur Demonstration des elektrischen Brechungsexponenten von Flüssigkeiten. (Berichte d. math. phys. Klasse d. Sächs. Ges. d. Wissensch. **47**, S. 329—351, 1895. Wied. Ann. **55**, S. 633—655, 1895.)

Über den Begriff des dielektrischen Widerstandes. (Wied. Ann. **57**, S. 223—231, 1896.)

Anomale elektrische Dispersion von Flüssigkeiten. (Wied. Ann. **58**, S. 1—20, 1896.)

Der elektrische Brechungsexponent von Wasser und wässerigen Lösungen. (Berichte d. math. phys. Klasse d. Sächs. Ges. d. Wissensch. **48**, S. 315—360, 1896. Wied. Ann. **59**, S. 17—63, 1896.)

Über die anomale elektrische Dispersion von Flüssigkeiten. (Abhandlungen d. math. phys. Klasse d. Sächs. Ges. d. Wissensch. **23**, S. 1—58, 1896.)

Zur Theorie stehender elektrischer Drahtwellen. (Abhandlungen d. math. phys. Klasse d. Sächs. Ges. d. Wissensch. **23**, S. 63—168, 1896. Wied. Ann. **60**, S. 1—47, 1896.)

Elektrische Anomalie und chemische Konstitution. (Berichte d. math. phys. Klasse d. Sächs. Ges. d. Wissensch. **48**, S. 431—435, 1896. Wied. Ann. **60**, S. 500—509, 1897.)

Neuer physikalischer Beitrag zur Konstitutionsbestimmung. (Chem. Berichte **30**, S. 930—965, 1897.)

Über Messung der Dielektrizitätskonstanten kleiner Substanzmengen vermittelst elektrischer Drahtwellen. (Berichte d. math. phys. Klasse d. Sächs. Ges. d. Wissensch. **48**, S. 583—612, 1896.)

Eine Methode zur Messung der Dielektrizitätskonstanten und elektrischen Absorption kleiner Substanzmengen vermittelst elektrischer Drahtwellen. (Wied. Ann. **61**, S. 466—511, 1897.)

Zwei Methoden zur Messung der Dielektrizitäts-Konstante und der elektrischen Absorption bei schnellen Schwingungen. (Zeitschr. f. phys. Chemie **23**, S. 267—325, 1897.)

Bemerkungen über die Wirkungsweise des Lecherschen Drahtsystems. (Wied. Ann. **61**, S. 631—637, 1897.)

Existence de vibrations de période plus courte à côté de l'ondulation fondamentale de l'excitateur de Hertz. (Arch. d. Genève **3**, S. 464—475, 1897.)

Über Fernewirkungen. (Referat für die 69. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte, Braunschweig 1897. Sektion Physik, 49 S. Beilage zu Wied. Ann. **62**, 1897.)

Zur Theorie der magnetooptischen Erscheinungen an Eisen, Nickel und Kobalt. (Wied. Ann. **62**, S. 687—693, 1897.)

Nachtrag zu meinem Referat: „Über Fernewirkungen". (Wied. Ann. **62**, S. 693—694, 1897.)

Über die Beziehung zwischen Torsion und Magnetismus. (Wied. Ann. **63** [Jubelband für G. Wiedemann], S. 9—15, 1897.)

Zur Theorie der anomalen elektrischen Dispersion. (Berichte d. math. phys. Klasse d. Sächs. Ges. d. Wissensch. **49**, S. 549—577, 1897.)

Theorie der anomalen elektrischen Dispersion. (Wied. Ann. **64**, S. 131—158, 1898.)

Die optischen Konstanten des Natriums. (Wied. Ann. **64**, S. 159—162, 1898.)

Über die Messung elektrischer Wellenlängen mittels der Quinckeschen Interferenzröhre. (Wied. Ann. **65**, S. 481—498, 1898.)

Über die Absorption kurzer elektrischer Wellen durch Wasser. (Wied. Ann. **65**, S. 499—503, 1898.)

Nekrolog auf W. G. Hankel. (Berichte d. math. phys. Klasse d. Sächs. Ges. d. Wissensch. **51**, S. LXVII—LXXVI, 1899.)

Über die elektrische Dispersion. (Wied. Ann. **67**, S. 489—492, 1899.)

Zur Theorie der magnetooptischen Erscheinungen. (Ber. d. Deutsch. Phys. Ges. **1**, S. 107—116, 1899.)

Zur Jonen-Theorie der Metalle. (Phys. Zeitschr. **1**, S. 161—165, 1900.)

Zur Geschichte der elektromagnetischen Dispersionsgleichungen. (Ann. d. Phys. **1**, S. 437—440, 1900.)

Zur Elektronentheorie I. (Ann. d. Phys. **1**, S. 566—613, 1900.) — II. (Ann. d. Phys. **3**, S. 369—402, 1900.)

Théorie de la dispersion dans les métaux fondée sur la considération des électrons. (Congrès international de Physique, Paris, **3**, S. 34—46, 1900.)

Lehrbuch der Optik, 1. Auflage, 498 Seiten, S. Hirzel, Leipzig 1900.

Zur Elektronentheorie III. (Ann. d. Phys. **7**, S. 687—692, 1902.)

Verbesserung des Apparates zur Messung der Dielektrizitäts-Konstante mit Hülfe elektrischer Drahtwellen. (Zeitschr. für phys. Chemie **40**, S. 635—637, 1902.)

Zur Messung der Dielektrizitäts-Konstante vermittelst elektrischer Drahtwellen. (Ann. d. Phys., **8**, S. 336—347, 1902.)

Bemerkungen zu Versuchen des Herrn Urbasch. (Zeitschr. für Elektrochemie **7**, S. 65—67, 1902.)

Entgegnung gegen Dr. Urbasch. (Zeitschr. für Elektrochemie **8**, S. 150—153, 1902.)

Zur Konstruktion von Teslatransformatoren; Schwingungsdauer und Selbstinduktion von Drahtspulen. (Ann. d. Phys. **9**, S. 293—610, 1902.)

Resonanzmethode zur Bestimmung der Periode der oszillatorischen Kondensatorentladung. (Ann. d. Phys. **9**, S. 611—618, 1902.)

Rotation von Flüssigkeiten im magnetischen Felde bei Diffusion. (Ann. d. Phys. **9**, S. 665—668, 1902.)

Bemerkung zu der Arbeit von Hagen-Rubens: „Über Beziehungen zwischen dem Reflexionsvermögen der Metalle und ihrem elektrischen Leitvermögen". (Verh. d. Deutsch. Phys. Ges., **5**, S. 142—143, 1903.)

Demonstration von Meßapparaten für elektrische Schwingungen. (Verh. d. Deutsch. Phys. Ges., **5**, S. 294—295, 1903.)

Elektrische Eigenschaften und Eigenschwingungen von Drahtspulen mit angehängten geraden Drähten oder Metallplatten. (Ann. d. Phys. **11**, S. 957—995, 1903.)

Über induktive Erregung zweier elektrischer Schwingungskreise mit Anwendung auf Perioden- und Dämpfungsmessung, Teslatransformatoren und drahtlose Telegraphie. (Ann. d. Phys. **13**, S. 512—561, 1904.)

Zur Theorie des Lichtes für aktive Körper. (Göttinger Nachrichten, 1904, S. 1—8.)

Optische Eigenschaften und Elektronen-Theorie I, II. (Ann. d. Phys. **14**, S. 677—726, S. 936—961, 1904.)

Electric Conduction In Metals from The Standpoint of The Electronic Theory. (Electrical Congress of St. Louis 1904.)

Die Dämpfung von Kondensatorkreisen mit Funkenstrecke. (Ann. d. Phys. **15**, S. 709—767, 1904.)

Rationelle Konstruktion von Teslatransformatoren. (Ann. d. Phys. **16**, S. 116—133, 1905.)

Optische Eigenschaften und Elektronentheorie. (Zeitschrift f. wissensch. Photographie **3**, S. 1—6, 1905.)

Winkelmanns Handbuch der Physik, II. Auflage, VI. Band, S. 1120—1387, 1906.

Die Natur des Lichtes.

Theorie des Lichtes für durchsichtige, ruhende Medien.

Doppelbrechung.

Übergang des Lichtes über die Grenze zweier Medien.

Die Gesetze der Lichtbewegung für absorbierende Medien.

Theorie der Dispersion.

Rotationspolarisation.

Theorie des Lichtes für bewegte Körper.

Antrittsrede. Sitzungsber. d. Akad. der Wissensch. zu Berlin, 1906, S. 552—556.

Lehrbuch der Optik. 2. Auflage. S. Hirzel, Leipzig, 1906. (Im Erscheinen begriffen.)

Weder, O., Die Lichtbewegung in zweiachsigen aktiven Kristallen. (Diss. Leipzig, 46 S., 1896.)

Löwe, K. Fr., Experimentaluntersuchung über elektrische Dispersion einiger organischer Säuren, Ester und von zehn Glassorten. (Diss. Leipzig, 40 S., 1898. Wied Ann. **66**, S. 390—410, 582—596, 1898.)

Coolidge, W. D., Dielektrische Untersuchungen vermittelst elektrischer Drahtwellen. (Diss. Leipzig, 44 S., 1899.)

Coolidge, W. D., Eine neue Methode zur Demonstration der elektrischen Drahtwellen. (Wied. Ann. **67**, S. 578—591, 1899.)

Coolidge, W. D., Dielektrische Untersuchungen und elektrische Drahtwellen. (Wied. Ann. **69**, S. 125—166, 1899.)

Micheli, F. J., Über den Einfluß von Oberflächenschichten auf das Kerrsche magnetooptische Phänomen. (Diss. Leipzig, 34 S., 1900. Ann. d. Phys. **1**, S. 542—565, 1900.)

Rietzsch, A., Über die thermische und elektrische Leitfähigkeit von Kupfer-Phosphor und Kupfer-Arsen. (Diss. Leipzig, 29 S., 1900. Ann. d. Phys. **3**, S. 403—427, 1900.)

Grimm, C., Beiträge zur Kenntnis der physikalischen Eigenschaften von Silberspiegeln. (Diss. Leipzig, 53 S., 1901. Ann. d. Phys. **5**, S. 448—478, 1901.)

Kiebitz, Fr., Über die elektrischen Schwingungen eines stabförmigen Leiters. (Diss. Gießen, 46 S., 1901. Ann. d. Phys. 5, S. 872—904, 1901.)

Kiebitz, Fr., Bestimmungen der Resonanz elektrischer Schwingungen mit Hülfe des Kohärers. (Ann. d. Phys. 6, S. 741—753, 1901.)

Schmidt, W., Bestimmung der Dielektrizitäts-Konstanten von Kristallen mit elektrischen Wellen. (Ann. d. Phys. 9, S. 919—937, 1902; 11, S. 114—126, 1903.)

Robinson, Ph. E., Der elektrische Widerstand loser Kontakte und seine Anwendung in der drahtlosen Telegraphie. (Diss. Gießen, 57 S., 1903.)

Robinson, Ph. E., Der elektrische Widerstand loser Kontakte und Resonanzversuche mit dem Kohärer. (Ann. d. Phys. 11, S. 754—796, 1903.)

Zahn, H., Über die galvanomagnetischen und thermomagnetischen Effekte in verschiedenen Metallen. (Ann. d. Phys. 14, S. 886—935, 1904.)

Hodson, Fr., Resonanzversuche über das Verhalten eines einfachen Kohärers. (Diss. Gießen, 39 S., 1904. Ann. d. Phys. 14, S. 973—994, 1904.)

Koch, J., Bestimmung der Brechungsindizes des Wasserstoffs, der Kohlensäure und des Sauerstoffs im Ultrarot. (Ann. d. Phys. 17, S. 658—674, 1905.)

Hahn, K., Die ladende Wirkung der Röntgenstrahlen. (Diss. Gießen, 46 S., 1905. Ann. d. Phys. 18, S. 140—171, 1905.)

Sachs, J. S., Untersuchungen über den Einfluß der Erde bei der drahtlosen Telegraphie. (Diss. Gießen, 53 S., 1905. Ann. d. Phys. 18, S. 348—372, 1905.)

---

57 : 51.1