

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

BEITRAG AUS DER REIHE:

Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik

Band 3

Rückblick und Perspektive

ISBN 3 - 7896 - 0513 - 1

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1993

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Erich Mollwo

Zur Vor- und Frühgeschichte der Festkörperphysik in Deutschland*)

Bevor ich mit dem eigentlichen Thema "Zur Vor- und Frühgeschichte der Festkörperphysik in Deutschland" beginne, möchte ich gerne - sozusagen aus aktuellem Anlaß - ein paar Sätze über den deutschen Physiker sagen, dessen Geburtstag sich 1992 zum 250sten Mal gejährt hat, und dessen man an verschiedenen Orten mit Denkmalsenthüllungen und Veranstaltungen gedachte. Es ist Georg Christoph Lichtenberg. In seiner Lebenszeit, in der zweiten Hälfte des 18ten Jahrhunderts, begann die Physik als Ganzes sich zu einer eigenen Disziplin im Hochschulunterricht zu entwickeln. Bis dahin gab es in Deutschland keine Lehrstühle speziell für Physik. Sie wurde lediglich von einigen Professoren mit Lehrstühlen für Medizin, Philosophie oder Ökonomie (also Wirtschaft, insbesondere Landwirtschaft) oder für Mathematik und Astronomie nebenbei vorgetragen. Lichtenbergs Bedeutung bezüglich der Physik liegt vor allem in seiner berühmten Experimentalphysik-Vorlesung, in der er meist vor mehr als hundert Hörern mit einer großen Anzahl (600) teils von ihm entwickelter Experimente dozierte. Von ihm stammen im übrigen die Zeichen + und - für die schon länger bekannte positive und negative elektrische Ladung, und als neue Entdeckung die Lichtenbergschen Staubfiguren, die als Vorläufer der Elektrokopierverfahren heute (C.F. Carlson, Patent "Elektrophotography" 1942) eine weltweite Anwendung gefunden haben.

Seine große Bekanntheit seit dem neunzehnten Jahrhundert kam aber nicht von seinen Leistungen in der Physik sondern von seiner literarischen Tätigkeit. Besonders beeindruckend und immer wieder lesenswert sind seine Aphorismen; kurze Merksätze, die er zum eigenen Gebrauch in seinen "Sudelbüchern" niedergeschrieben hat. In ihnen besprach er in origineller und treffsicherer Sprache ziemlich alles, was ihm in den Kopf kam. Dabei ging es um nahezu alles vom Jahrmarkt bis zur Kirche und oft auch um Wissenschaft und Physik. Ich benutze eine seiner typischen, etwas skurrilen, d.h. schwer verständlichen aber tiefgründigen Bemerkungen, um auf mein eigentliches Thema, die Festkörperphysik als Teil der Naturwissenschaften und ihre historische Entwicklung in Deutschland, zu kommen. Sie lautet: "Alle Naturwissenschaft beruht auf der zutreffenden



Abb. 1: G. C. Lichtenberg (1742-1799)

Erkenntnis, daß ein Zyklus nur ein Auge im Kopfe hat, ein Privatdozent aber zwei." In normaler Sprechweise würde man wohl sagen: "Die exakte Naturwissenschaft, speziell die Physik, ist die Wissenschaft von Mass und Zahl." Oder etwas ausführlicher: Fundamental für jede exakte Naturwissenschaft sind die Begriffe, mit denen man logisch mathematisch, also wie z.B. mit Zahlen, umgehen kann. Und das Auffinden sowie die sinnvolle Anwendung und Verknüpfung derartiger Begriffe liefert uns die verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen und macht den Fortschritt in den Naturwissenschaften aus. Interessant ist dabei, in welche Disziplinen oder Ordnungsbereiche man im Laufe der Zeit die Naturbeobachtungen und die Gedanken darüber mit den entsprechenden Begriffen eingeordnet hat. In der Antike und im Mittelalter bis in das achtzehnte Jahrhundert waren es die vier Elemente Feuer, Wasser, Luft und Erde, also Dinge, an denen oder aus deren Bereich man seine Beobachtungen anstellte. Festkörper hätten damals zum Element oder Bereich Erde gehört. Etwa von der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts an ordnete man die Physik nach eigens dafür erfundenen abstrakten Begriffen: Mechanik, Akustik, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Optik.

So wurden damals die Überschriften der Kapitel in den Lehrbüchern der Physik und die Titel der Vorlesungen festgelegt und blieben etwa 200 Jahre unverändert (z.B. in dem zu seiner Zeit sehr bekannten Lehrbuch "Anfangsgründe der Naturlehre" von Johann Christian Polyrkarp Erxleben, dem Vorgänger und Freund Lichtenbergs in Göttingen). Heute ordnet man die z. Z. moderne Physik wieder in gewissem Sinne ähnlich wie im Mittelalter und in der Antike nach Gegenständen der Forschung, nämlich: Elementarteilchenphysik, Atomphysik, Festkörperphysik. In dieser Reihenfolge sind die genannten Forschungsgegenstände nach unserer heutigen Kenntnis seit dem Urknall nacheinander entstanden. Die zeitliche Reihenfolge im Bewußtsein und Verständnis der Menschheit ist jedoch mit Sicherheit gerade umgekehrt, und die geistige Begegnung der Menschheit mit dem Festkörper ist sicher viel älter als mit den Elementarteilchen. Genaueres über diese Uranfänge weiß man natürlich nicht.

Soviel steht aber fest: Der Mann, der nach übereinstimmendem Urteil aller Experten die Theoretische - damals sagte man Mathematische - Physik in Deutschland mit systematischen Vorlesungen und Übungen begründete, so wie Lichtenberg die experimentelle Demonstrations-Vorlesung, war auf Grund seiner wissenschaftlichen

Arbeiten in unserer heutigen Sprechweise - ein Festkörperphysiker. Ich meine Franz Neumann, Professor in Königsberg in Preußen. Neumann, 1798 geboren als heiliches Kind einer

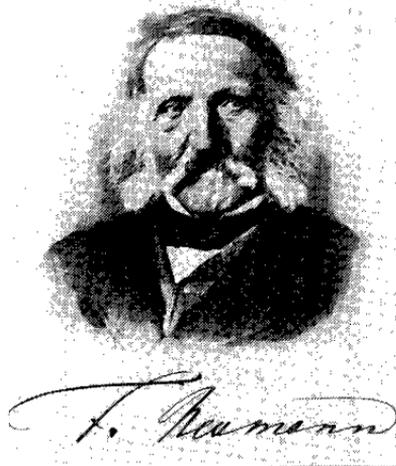


Abb. 2: F. Neumann (1798 - 1895)

Gräfin in der Uckermark, also in der Nähe Berlins, hatte als 17-jähriger am Freiheitskrieg 1815 teilgenommen und war in der Schlacht bei Ligny schwer verwundet worden. Ausgebildet in Berlin als Mineraloge, wandte er sich frühzeitig der Physik mit besonderer Betonung der Kristallphysik zu. Neben Fragen aus anderen Gebieten der Physik ist die Mehrzahl von Neumanns wissenschaftlichen Arbeiten der Physik der nichtmetallischen Kristalle, insbesondere der Optik, den elastischen Eigenschaften, der Wärmekapazität und (angeregt durch Fouriers Arbeiten) der Wärmeleitung gewidmet. Das Untersuchungsmaterial für seine experimentellen Arbeiten - natürliche Kristalle - sammelte er bei Bergwerken und auf ausgedehnten Fußwanderungen im Riesengebirge und in den Alpen. Seine Vorlesungen seit 1830 über Theoretische Physik waren die ersten in Deutschland. Neumann als Physiker, Jacobi als Mathematiker und Bessel als Astronom machten damals Königsberg zum naturwissenschaftlichen Zentrum in Deutschland.

Neumanns berühmtester Schüler war Gustav Kirchhoff. Er beschäftigte sich überwiegend mit allgemeinen Fragen der Thermodynamik, der Strahlung und der Strömung. Obwohl er in seinen Arbeiten ausführlich die Theorie der Elastizität behandelt, findet man bei ihm im Gegensatz zu seinem Lehrer fast keine Untersuchung über Kristalle oder feste Körper. Ganz anders entwickelte sich Neumanns jüngster Schüler, Woldemar Voigt,

mein Großvater. Nach Anfangsstudium in Leipzig und nach Teilnahme am Deutsch-Französischen Krieg kam er 21jährig 1871 nach Königsberg zu dem damals bereits 73jährigen Neumann. Er promovierte 1874 mit einer Arbeit "Über die Elastizitätsverhältnisse des Steinsalzes" und kehrte in seiner späteren wissenschaftlichen Arbeit immer wieder zur Physik der Kristalle zurück. Als Neumann sich 1876 von seiner Lehrtätigkeit zurückzog, leitete er bis zu seiner Berufung nach Göttingen im Jahre 1883 das berühmte mathematisch-physikalische Seminar in Königsberg. In Göttingen blieb er seinem Steckenpferd, der Kristallphysik, treu und zwar nach ihrer mechanischen, optischen, elektrischen, magnetischen und thermischen Seite. Für seine experimentellen Untersuchungen an natürlichen Kristallen ließ er sich im Keller seines Wohnhauses eine erschütterungsfreie "Apparatestube", die er in seinem Institut, einem alten Fachwerkhaus, nicht haben konnte, bauen. Sie ist mir mit ihren vom übrigen Haus isolierten Pfeilern und den großen Sandsteinplatten, die nach damaliger Ansicht, wie mir Herr Pohl oft erzählte, allein für die Aufstellung empfindlicher Apparate geeignet waren, noch gut in Erinnerung. 1905 wurde der Neubau der physikalischen Institute an der Bunsenstraße bezogen.



Abb. 3. W. Voigt (1850 - 1919)

Im Jahre 1910 erschien Voigts "Lehrbuch der Kristallphysik", die erste Monographie über diesen Gegenstand, in der, bezeichnend für die Geisteshaltung des Autors, in der Einleitung ein Abschnitt über die ästhetische Seite der Kristallphysik vorkommt. In ihm sind die experimentell gefundenen Tatsachen weitgehend nach phänomenologischen, mathematischen Prinzipien klassifiziert und als Wechselwirkung von Eigenschaftsgrößen mit skalarer, polarvektorieller, axial-vektorieller oder tensorieller Natur diskutiert. Wegen dieser Eigenart, die Kristallphysik ohne atomistische Modellvorstellungen auf Grund allgemeingültiger (thermodynamischer) Prinzipien - in "himmelblauer Allgemeinheit" wie er sagte - darzustellen, ist das Buch lange Zeit (letzter Neudruck 1966) von Interesse geblieben. Aber die Hauptvoraussetzung für eine derartige Darstellungsweise ist die, daß die zu behandelnden Phänomene durch Eigenschaften des idealen kristallographisch definierten Kristalls vollständig festgelegt werden. Das trifft für einige Erscheinungen weitgehend zu. Ich denke da an mechanische Elastizität, Lichtbrechung mit ihren geometrisch komplizierten Fällen der Doppelbrechung, Pyro- und Piezo-Elektrizität usw.. Andererseits sind alle Beobachtungen, die sich mit elektrischer Leitfähigkeit, Absorption und Emission von Licht, insbesondere in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts, also elektronischen Vorgängen, beschäftigen ohne atomistische bzw. wellenmechanische Begriffe und Vorstellungen nicht verständlich zu machen. Das gilt bereits für den idealen Kristall, jedoch in ungleich stärkerem Maße für den realen Kristall, auch wenn es sich bei ihm um möglichst reine, künstlich erzeugte Exemplare handelt.

Mit den Erscheinungen der Lichtemission, insbesondere der Lumineszenz der Erdalkali-Sulfide und -Oxide hatte sich bereits seit 1889 Philipp Lenard, zunächst mit seinem Lehrer V. Klatt, neben seinen zahlreichen anderen Aktivitäten, besonders auf dem Gebiet der Kathodenstrahlen, beschäftigt. An diesen "Lenard-Phosphoren" hatte schon 1886 der Franzose A. Verneuil nachgewiesen, daß für den Leuchtmechanismus im allgemeinen Störungen des idealen Kristallgitters z.B. durch Fremdatome verantwortlich sind. Lenard gab auf Grund seiner Untersuchungen der Lumineszenz in Verbindung mit solchen über lichtelektrische Leitung ausführliche Modelldarstellungen für die von ihm eingeführten "Leuchtzentren". Bei ihnen spielten erstmalig durch Verlagerung von Elektronen bei Lichteinstrahlung entstehende "angeregte Zustände" mit u. U. langer Lebensdauer eine wesentliche Rolle. Lichtemission sollte bei Rückkehr der Elektronen in den "Grundzustand" auftreten. Diese Konzeption war am Ende des vorigen und zu Beginn des jetzigen Jahrhunderts, als man gerade gelernt hatte, Lichtabsorption und -dispersion mit Schwingungen der Elektronen zu verknüpfen, eine entscheidende Vorwegnahme der Vorstellung vom Prozeß der Licht-Emission im Bohrschen Atommodell. So sah es jedenfalls im Jahre 1913 unmittelbar nach dem Erscheinen der Bohrschen Arbeit nicht nur Lenard selbst, sondern z.B. auch R.W. Pohl, der damals im Berliner physikalischen Kolloquium Referent für die Lenardschen Arbeiten war. Davon erzählte er mir später sehr ausführlich.

Lenards wissenschaftliche Arbeiten sind mit Sicherheit für die Entwicklung der Physik (u.a. der Festkörperphysik) von ganz erheblicher Bedeutung. Leider habe ich ihn persönlich

niemals gesehen oder kennengelernt, obwohl er erst nach dem zweiten Weltkrieg gestorben ist (1947). Das hing mit seiner persönlichen Einstellung zu seinen Mitmenschen zusammen. Er war seit Beginn der zwanziger Jahre entschiedener Gegner Einsteins und der meisten theoretischen Physiker. Zu Tagungen der Physikalischen Gesellschaft, bei denen die Theoretiker eine erhebliche Rolle spielten, kam er grundsätzlich nicht. Er schrieb jedoch ein vierbändiges physikalisches Lehrbuch mit dem Titel "Deutsche Physik", in dem die "jüdische Theorie" abgeurteilt wird. Als Pohl im Jahre 1932 einen Ruf als Nachfolger Lenards erhielt und sich bei ihm in seinem Heidelberger Institut vorstellen wollte, fand er an der Tür seines Arbeitszimmers ein Schild mit den Worten: "Mitgliedern der sogenannten Deutschen Physikalischen Gesellschaft ist der Zutritt verboten." Er ging dann trotzdem hinein, lehnte den Ruf aber ab.

Bezüglich der elektrischen Leitfähigkeit in festen Stoffen erschienen in der Zeit von etwa 1900 bis zum Beginn des ersten Weltkrieges in Deutschland etliche experimentelle und theoretische Arbeiten, die sich mit diesem Thema beschäftigten. Genannt werden müssen vor allem die Untersuchungen von J. Königsberger in Freiburg i.B., der mit seinen Mitarbeitern neben Fragen über Kanalstrahlen, thermische Strahlung, Spektroskopie vor allem die elektrische Leitfähigkeit von Oxiden und Sulfiden in Abhängigkeit von der Temperatur bearbeitete. So interessant diese Arbeiten waren, so wenig konnten sie zu theoretisch verwertbaren Ergebnissen führen, da das Versuchsmaterial - in der Natur gefundene Mineralien - weitgehend unreproduzierbare Resultate lieferte.

Einen deutlichen Fortschritt in diesem Zusammenhang brachten etwa ab 1908 die Arbeiten von K. Baedeker, dem Sohn des Herausgebers der weltbekannten Reiseführer, F. Baedeker. Er verzichtete darauf, Kristalle zu untersuchen. Statt dessen stellte er die verschiedenen chemischen Verbindungen in Form dünner auf Glas niedergeschlagener Metallschichten nach Reaktion mit Dämpfen aus Schwefel, Arsen, Selen und Jod her. Dabei stellte er fest, daß z.B. für CuJ die elektrische Leitfähigkeit reversibel um Größenordnungen anstieg, wenn die CuJ-Schicht aus freier Luft in ein mit Jod-Dampf gefülltes Gefäß eingetaucht wird.

Dieser experimentelle Befund, der qualitativ auch bei anderen Substanzen auftrat, wurde seinerzeit kaum beachtet und höchstens hie und da als Kuriosum in Vorlesungen vorgezeigt. Heute stellt er den Grundversuch der Dotierung von Halbleitern, Grundlage der modernen Elektronik dar. Er zeigt nämlich, daß und wie man die elektrische Leitfähigkeit eines festen Körpers verändern kann.

Einen ersten Versuch einer theoretischen Behandlung der elektrischen Leitfähigkeit - wenigstens in Metallen - machten unabhängig voneinander und nahezu gleichzeitig (etwa im Jahr 1900)

1. Paul Drude, ein Schüler von Voigt
2. H.A. Lorentz in Leyden
3. J.J. Thomson in Cambridge

Alle drei gingen aus vom Modell eines freien Elektronengases, das zwischen den Bausteinen des Kristallgitters sich nach den Vorschriften der kinetischen Gastheorie mit der Boltzmann-Statistik bewegen sollte. Es stellte sich aber heraus, daß nur das Wiedemann-Franz-Gesetz (Proportionalität zwischen elektrischer und Wärme-Leitung) näherungsweise herauskam. Die spezifische Wärme der Metalle ergab sich viel zu groß. Daß die damals gerade entstehende Quantenphysik des Rätsels Lösung bringen würde, ahnte damals natürlich niemand, am wenigsten Herr Lenard. Trotzdem entwickelte sich die Quanten- und Atomphysik in den ersten zwei Jahrzehnten des Jahrhunderts gewaltig und hatte auch auf die Entwicklung der Festkörperphysik erheblichen Einfluß. Für die Atomphysiker war dieser Einfluß durch das Bohrsche Atommodell eine Selbstverständlichkeit. Aber die Physiker, die sich mit den Erscheinungen der festen Körper beschäftigten, bei denen der Zusammenhang mit der Quantenphysik komplizierter war und sich schwieriger beobachten ließ, wurden von ihren Kollegen oft mit einem mitleidigen Lächeln abgetan.

Noch bevor sich die Erforschung des Festkörpers dem realen Kristall und der Behandlung mit quantenmechanischen Vorstellungen zuwandte, erschien im Jahre 1916 das wichtige Buch "Dynamik der Kristallgitter" von Max Born. Es basierte auf der durch die Laue-Entdeckung (1912) gesicherten atomistischen Struktur der Kristalle und bringt hier die von Voigt begeistert begrüßte "atomistische" Fortführung seiner phänomenologischen Darstellung. Mir ist noch in deutlicher Erinnerung wie Born etwa 1931 bei einer längeren Diskussion über die im Pohlschen Institut untersuchte Feinstruktur der ultraroten Reststrahlbanden in Alkalihalogeniden anknüpfend an seine "Dynamik der Kristallgitter" mit uns sprach. Dabei entwickelte er zur Erklärung der ultravioletten Absorptionsbanden ein "Exzitonon-Modell", das etwa 30 Jahre später erhebliche Bedeutung erhielt.

Damit sind wir jedoch dem Erscheinungsdatum des Bornschen Buches weit vorausgeilt. Die eigentliche Wende zum realen Kristall und seinen elektronischen, also optischen und elektrischen Eigenschaften, kam als R.W. Pohl um 1920 in Göttingen mit seinem Institut diese Dinge systematisch zu untersuchen begann. Pohl kam aus Berlin, wo er meist zusammen mit Pringsheim



Abb. 4: R. W. Pohl (1884 - 1976)

über den äußeren lichtelektrischen Effekt, also die Elektronen-Befreiung durch Licht aus Metall-Oberflächen, gearbeitet hatte. Wer ihn im Jahre 1916 nach Göttingen haben wollte, weiß ich nicht. Riecke, der Experimentalphysiker, war schon 1915 gestorben. Sein Nachfolger wurde Debye, der Göttingen aber schon bald wieder verließ. Vielleicht war er der Vorschlagende. Mein Großvater, also Voigt, wird es kaum gewesen sein. Als ich anfangs der

dreißiger Jahre mit Pohl auf dem Instituts-Dachgarten eine physikalische Arbeit besprach, sagte er plötzlich: "Ich wüßte gern, was Ihr Großvater sagen würde, wenn er uns hier so friedlich zusammensitzen sehen könnte." Und dann erzählte er, wie er mit dem "alten Herrn" eine "sehr unerfreuliche Aussprache" über seine künftige Tätigkeit und Stellung im Institut gehabt habe, als er sich in Göttingen bei ihm vorstellte. "Aber der alte Herr war ja damals schon leidend." Das stimmte wohl nicht, denn mein Großvater war bis zu seinem Tod, drei Jahre später, kerngesund. Aber Pohl beruhigte sich mit dieser möglichen - allerdings kaum zutreffenden - Erklärung.

Jedenfalls begann er unmittelbar nach dem Ende des ersten Weltkrieges zusammen mit Bernhard Gudden, der schon vor Pohls Amtsantritt in Göttingen eine halbmineralogische Doktorarbeit bei Riecke und Mügge begonnen hatte, die lichtelektrische Leitung in Kristallen zu untersuchen. Ob dafür tatsächlich, wie er später oft behauptete, der Umstand entscheidend war, daß er in Göttingen nicht die ihm von Berlin her bekannten Hilfsmittel für seine dortigen Arbeiten haben konnte, wie z. B. Vakuum-Pumpen, flüssige Luft usw., und ob die mit Kristallen arbeitende Doktor-Dissertation von Gudden die Wahl eines neuen Arbeitsgebietes beeinflusste, wissen wir nicht. Sicher ist, daß im Pohlschen Institut systematisch und mit einer bis dahin nicht üblichen Sorgfalt und Genauigkeit an den elektrischen und optischen Eigenschaften von nicht-metallischen Kristallen gearbeitet wurde. Zunächst benutzte man, wie üblich, natürlich vorkommende Kristalle, also Mineralien. Es stellte sich aber wieder einmal heraus, daß derartige Kristalle zu undefiniert durch alle möglichen Störungen und Zusätze waren. Bekannt ist die Warnung Paulis, der damals (Anfang der zwanziger Jahre) Assistent bei Born war, noch in den dreißiger Jahren an seinen Assistenten Peierls, um ihn von der Beschäftigung mit festen Körpern abzuhalten; der feste Körper sei ein Dreck und "im Dreck soll man nicht wühlen". Deswegen begann man im Pohlschen Institut etwa seit 1925 künstliche Kristalle der Alkalihalogenide aus der Schmelze zu ziehen, ähnlich wie das heute für die industrielle Halbleiter-Elektronik gang und gäbe ist. Es gelang so tatsächlich, sehr viel sauberere Kristalle als große Einkristalle bis zu "Kindskopfgröße" - wie Pohl voll Stolz betonte - herzustellen. Ebenso war es nun möglich, absichtlich und gezielt mit Zusätzen zu dotieren, und man erhielt große Kristalle der Alkalihalogenide mit Zusätzen von Cu, Ag, Tl und Pb. Bei diesen Alkalihalogenid-Phosphoren beschränkte man sich im wesentlichen auf Absorptionsmessungen. Emissionsuntersuchungen erschienen zu kompliziert und wenig aufschlußreich. Auf die elektrische Leitfähigkeit hatten diese Zusätze keinen wesentlichen Einfluß. Man untersuchte zunächst nur die lichtelektrische Leitfähigkeit und zwar an natürlichen Kristallen. Geeignet erwiesen sich dazu fast nur Kristalle mit hohem Brechungsindex im sichtbaren Spektralbereich (also großer Polarisierbarkeit) bei Bestrahlung mit UV-Licht. Folgerichtig wählte man für besonders wichtige Untersuchungen einen Diamanten ($n > 2,4$), den man sich von dem Kollegen in der Mineralogie geliehen hatte. An ihm sollte das Quantenäquivalent für die lichtelektrische Leitung nachgewiesen werden, also Ablösung eines Elektrons pro Lichtquant. Eine solche Untersuchung hatte für Pohl seit seiner Berliner Zeit eine besondere Bedeu-

tung, da sie für ihn der Anschluß an die moderne Quantenphysik war. Die Versuche verliefen tatsächlich erfolgreich, nahmen aber vorzeitig ein bedauerliches Ende. Pohl hatte noch während der Quantenäquivalent-Untersuchungen die Idee, zur Kontrolle, daß man es mit bewegten Elektronen zu tun habe, den Hall-Effekt zu messen. Er montierte den Diamanten zwischen die Pol-Schuhe eines Elektromagneten, vergaß aber die Pol-Schuhe zu fixieren. Der Erfolg war beim Einschalten des Spulenstroms die totale Pulverisierung des Diamanten. Damit ergab sich zwangsweise der Versuchsabbruch, da man keinen zweiten Diamanten besaß. Ich habe übrigens noch mit eigenen Augen den nicht wieder eingelösten Diamanten-Leihschein mit Pohls Unterschrift im mineralogischen Institut gesehen. Dieses Malheur hatte zur Folge, daß in den nächsten 15 Jahren im Pohlschen Institut, trotz mehrfacher Wünsche aus dem Kreise der Mitarbeiter, keine Untersuchungen mit Hilfe des Hall-Effekts durchgeführt wurden.

Aber es gab genügend viel andere Themen, insbesondere nachdem man eine besondere Art von Störstellen in den Alkalihalogeniden gefunden hatte. Sie entstanden durch Erhitzen der farblosen Kristalle in Alkalidampf und sie bekamen den Namen "Farbzentren", da durch sie der Kristall eine sichtbare Verfärbung erhielt. Wie schon im Jahre 1931 klar war und seit den fünfziger Jahren feststand, handelt es sich bei ihnen um Elektronen, die eine Halogen-Leerstelle besetzt haben. Mit ihnen wurden im Laufe der dreißiger Jahre Schauversuche bei vielen Veranstaltungen gezeigt und eingehende Messungen und Experimente aller Art durchgeführt und entwickelt, unter anderem ein Modell eines "Kristallverstärkers". Am bekanntesten und effektivsten war die Wanderung einer blauen Farbzentren-Wolke

in einem sonst farblosen Kristall unter dem Einfluß eines elektrischen Feldes. Stets achtete Pohl darauf, daß in den Veröffentlichungen möglichst wenig oder besser noch gar keine Theorie erörtert wurde. "Davon verstehen wir doch nichts" oder "Theorien kommen und gehen, Tatsachen bleiben" waren seine Worte, wenn ihm - was oft genug geschah - seine Mitarbeiter ihre theoretischen Überlegungen vortrugen. Schottky, der einzige bedeutende Theoretiker, der sich damals für die Arbeiten der Pohlschen Schule engagiert interessierte, war für Pohl kein Gesprächspartner. Sie verstanden und mochten sich wohl auch gegenseitig nicht. So spielten sich die Gespräche mit Schottky ausschließlich auf Assistenten-Ebene meist in Form eines Verhörs ab. Gipfeltreffen gab es nicht.

Diese Pohlsche Eigenart brachte ihm und seinem Institut einerseits eine gewisse Abseitsstellung nicht nur gegenüber den Göttinger Physikern, vor allem den Theoretikern, ein. Er



Abb. 5: W. Schottky (1886 - 1976)

ließ sich aber von seinem als richtig erkannten Weg nicht abbringen, auch wenn seinem Institut dadurch die eine oder andere Erstveröffentlichung entging. Auf der anderen Seite war die Institutsarbeit damals nie durch Konkurrenz von außerhalb gestört. Das galt sicher für die Untersuchungen an Alkalihalogenidkristallen. Für sie besaß das Pohl'sche Institut eine Art Monopol, schon deshalb, weil es allein die reinen Kristalle herstellen konnte.

Verständlicherweise spielten deshalb im Pohl'schen Institut ab etwa 1930 die anderen, früher untersuchten Materialien wie Lenardphosphore oder auch elektronische Halbleiter keine Rolle. Gudden, der 1925 nach Erlangen gegangen war, arbeitete dort weiter auf diesem damals noch ganz unübersichtlichen Gebiet. Einen Eindruck davon gibt der Übersichts-Artikel, den er im Jahre 1934 verfaßte, in dem der heute recht befremdlich klingende Satz steht: "Metalle wie Graphit, **Silizium**, Titan, Zirkon usw. sollten wirklich nicht mehr mit den elektronischen Halbleitern in einen Topf geworfen werden, da der Grund für ein äußerlich ähnliches Verhalten völlig wesensverschieden ist." Silizium ist bekanntlich heute **der** elektronische Halbleiter. Der Untersuchung der Lenardphosphore widmeten sich in den dreißiger Jahren die drei Berliner Physiker Nikolaus Riehl, Friedrich Möglich und Michael Schön. Herr Riehl war Experimentator, aber der Theorie und ihren Gedankengängen - im Gegensatz zu Pohl - keineswegs abhold, z.B. der Energie-Bänder-Theorie von A.H. Wilson in London. Die beiden anderen Herren waren ganz überwiegend theoretisch interessiert und bemühten sich, die Riehlschen Ergebnisse in der Sprache der Theorie zu verarbeiten. Daß dieses Anliegen wohl nicht immer den vollen Beifall der übrigen Physiker fand, drückt sich aus in einem Wortspiel, das damals unter den zuständigen Physikern sehr verbreitet war: "Was Herr Riehl macht ist ja wohl in Ordnung. Aber was Herr Schön macht, ist nicht möglich, und was Herr Möglich macht, ist nicht schön." Die Arbeiten haben trotzdem beträchtlichen Einfluß gehabt, und auch Schottky interessierte sich sehr dafür. So war kurz vor Beginn des zweiten Weltkrieges der Stand des physikalischen Arbeitsgebietes, das nach dem zweiten Weltkrieg ziemlich bald allgemein "Festkörperphysik" genannt wurde. Eine ganze Anzahl von neuen Begriffen, überwiegend aus dem Gebiet der Elektrizitätsleitung, hatten sich gebildet wie z.B. Halbleiter, Fehlordnung, Eigenleitung, Störleitung, Störstellen, Donatoren, Akzeptoren, Leitungsband, Valenzband, Schubweg, Überschuß- und Defekt-Leitung usw., die nach einer Zusammenfassung und einer begrifflichen Namensgebung verlangten.

Ob es ein kennzeichnendes Datum für die Benutzung des neuen Wortes, also eine Geburtsstunde - oder besser - einen Namenstag der "Festkörperphysik" gab, ist sicher nicht zu sagen. Recht einleuchtend dürfte der Zeitpunkt der großen internationalen Tagung in Bristol im Jahre 1937 über "Elektrizitätsleitung in festen Körpern" sein. Bei dieser Tagung trug Pohl über die Arbeiten seines Institutes an den Alkalihalogeniden seit 1925 vor, und die anwesenden Engländer und Amerikaner zeigten sich auf internationalem "level" höchst interessiert. Durch Bücher, Vorlesungen und Vorträge sorgten in den folgenden Jahren Mott und Gurney in England und Frederic Seitz in Amerika für das Bekanntwerden und die Fortführung der Untersuchungen an Ionenkristallen und für die Ausdehnung auf die rein

elektronischen Halbleiter, die in Deutschland zunächst nur von Gudden in Erlangen, Pohls erstem Mitarbeiter, später von Schottky und Spenke bei der Firma Siemens, ausgeführt worden waren. Sie führten - wie Sie wissen - im Jahr 1947 zur Entwicklung eines elektronischen Festkörper-Verstärkers ("Transistor").

Ich konnte an der Tagung in Bristol wegen Militärdienst nicht teilnehmen und hatte daher weder direkten Kontakt mit Engländern und Amerikanern noch eine Vorstellung von der dort einsetzenden Entwicklung. Mir wurde alles das erst klar durch eine Episode, die ich am Ende des Krieges erlebte.

Wenige Tage nachdem die Amerikaner Göttingen besetzt hatten, klingelte es an unserer Wohnungstür. Als ich öffnete, stand dort ein großer Mann in der Uniform der amerikanischen Wehrmachtsbeamten. Ich bekam zunächst einen ziemlichen Schrecken, da ich damit rechnen mußte, daß man mich abtransportieren und mindestens internieren würde. Da sagte der Mann auf deutsch ganz langsam: "Ich komme nicht als Feind, ich komme als Freund." Es stellte sich heraus, daß es Frederic Seitz war, der damals als Mitglied der sogenannten "Alsos mission" nach Ergebnissen der deutschen Forschung während des Krieges suchen sollte. Er wollte mit mir über "solid state physics" sprechen. So begegnete mir, in demselben Augenblick, wo der zweite Weltkrieg für mich beendet war, zum ersten Mal ganz offiziell und ernsthaft das Wort und der Begriff "solid state physics", unter welchem seitdem international alle die Dinge zusammengefaßt und fortentwickelt wurden, über deren Vor- und Frühgeschichte in Deutschland ich Ihnen erzählt habe.

*) Manuskript des am 14.12.92 im Seminar Didaktik der Physik in Erlangen gehaltenen Vortrags.