

# Die Musik der Tatsachen

Robert Wichard Pohl – ein Pionier der experimentellen Festkörperphysik

Jürgen Teichmann

Robert Wichard Pohl gilt als einer der wesentlichen Wegbereiter der Festkörperphysik. Er befasste sich als erster quantitativ exakt mit Störungen im Kristall. Für den Theoretiker Wolfgang Pauli war etwa der elektrische Restwiderstand noch „ein Dreckeffekt und im Dreck soll man nicht wühlen“. Die Forschungen an Pohls Institut fanden zunächst sehr isoliert statt und sollten seine Schule erst nach 1945 berühmt machen.

**R**obert Wichard Pohl, vor 125 Jahren in Hamburg geboren, war schon als Schüler, mit elf, zwölf Jahren, von der „Weltsensation“ der Röntgenstrahlen tief beeindruckt. Diese Begeisterung für wichtige und effektvolle Phänomene hielt sein Leben lang an. Davon handelt auch einer der ihn besonders prägenden Leitsätze, den er auf seinen frühen Hochschullehrer Georg Quincke in Heidelberg zurückführt: Theorien kommen und gehen, Tatsachen bleiben. Zwar verteidigte er mitunter auch die Theorie in der Physik, doch sie blieb für ihn immer nur Notenschrift für die „Musik der Tatsachen“.

Nach Heidelberg studierte Pohl in Berlin und arbeitete hier über elektrische Gasentladungen und damit zusammenhängende Probleme. Dabei übernahm er schon ganz selbstverständlich das Konzept des Elektrons, das um diese Zeit erst nach und nach Eingang in die Physikerwelt fand. 1906 promovierte er bei Emil Warburg über „stille elektrische Entladung“ und die Zersetzung von Ammoniak. Parallel dazu ließen ihn aber auch die Röntgenstrahlen nicht los. Er untersuchte alle damaligen Beugungsexperimente und fand sie wenig aussagekräftig, obwohl er selbst vom Wellencharakter der



Robert Wichard Pohl (1884 – 1976) zählt zu den großen Experimentalphysikern des 20. Jahrhunderts.

Strahlung überzeugt war. Diese Arbeiten wurden erst 1912 verspätet als Habilitationsarbeit eingereicht. Sie enthielt den Hinweis auf das gerade publizierte epochemachende Experiment von Walther Friedrich und Paul Knipping (unter der theoretischen Anleitung Max von Laues), das den Nachweis der Wellennatur der Röntgenstrahlen und der regelmäßigen atomistischen Kristallstruktur brachte. Inzwischen hatte sich Pohl schon einem neuen Gebiet zugewandt, das schließlich bestimmend für sein Lebenswerk werden sollte, dem Festkörper, genauer zunächst, dem Photoeffekt an Festkörperoberflächen. Der Leitsatz von Quincke hieß für ihn nicht, dass theoretische Konzepte unnötig waren. Er sah sie als wichtige Leit-„Bilder“ an – die aber immer nur Bilder bleiben sollten. Neben der frühen Atomtheorie benutzte er auch Lenards Idee von mikrokristallinen Zentren als Ursprungsort der Elektronen beim Photoeffekt

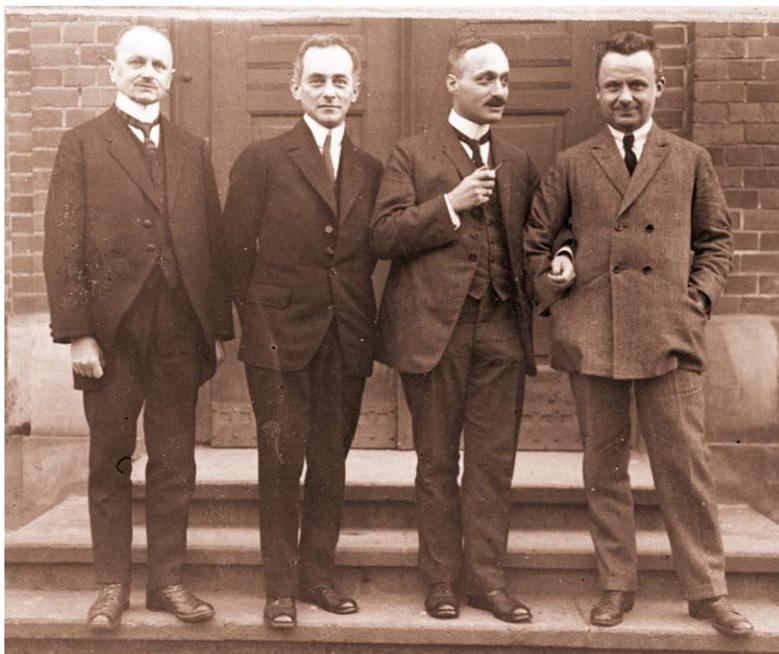
und, am erstaunlichsten für die so frühe Zeit, auch Einsteins Lichtquantenansatz von 1905.

1916, noch im Kriegseinsatz als Oberingenieur, erhielt er einen Ruf nach Göttingen, den er Ende des Kriegs antrat. Hier blieb er Zeit seines Lebens und baute sich ein eigenes Reich der Experimentalphysik auf. Walther Gerlach nannte ihn im Rückblick einen der letzten autoritären Institutsleiter, der allerdings gerade wegen seiner fachlichen und menschlichen Qualitäten auch selbstverständliche Autorität genoss. Das bezeugten alle seine Mitarbeiter, für die er patriarchalisch sorgte, die er aber auch freundschaftlich und kollegial in Diskussionen und Feiern einband. Er begleitete alle Forschungen seines Instituts kompetent und sorgfältig, bis in Einzelheiten der schriftlichen Publikationen – hier manchmal zu sorgfältig, wie die gleichen Mitarbeiter meinten. Von einer gewissen autokratischen Herrschaft Pohls zeugt auch, dass er Rad fahren auf dem Institutsgelände oder Rauchen in den Kolloquien verbot.

Warum blieb er in Göttingen? Sicher hielt ihn das spannende wissenschaftliche Klima besonders fest, für Pohl weniger das theoretische als das experimentelle: Verbindungen zu chemischen, mineralogischen und medizinischen Instituten und vor allem der Kontakt zu seinem Studienfreund James Franck, der fast gleichzeitig nach Göttingen kam (Abb. 1). Studenten der drei physikalischen Institute nannte man gerne im Scherz die „Po(h)lierten, Fran(c)kierten und Bornierten“. So sehr Pohl Abstand zu Born hielt, so wenig ist das verletzende der dritten Wortschöpfung sicher in seinem Geist geschehen. Allerdings beklagte Born später

Prof. Dr. Jürgen Teichmann, Lehrstuhl für Geschichte der Naturwissenschaften, Museumsinsel 1, 80538 München

**Abb. 1** Robert Wichard Pohl (rechts) im Jahre 1921 mit seinen Göttinger Kollegen (von rechts) James Franck, Max Born und dem Leiter des Instituts für angewandte Elektrizität Max Reich.



einigen Ärger mit Pohl, etwa wenn sein Schüler Max Delbrück bei der Pohl'schen Prüfung in Experimentalphysik zunächst durchfiel. Auch das Verhältnis zu Franck blieb nicht ohne Spannungen. Bei ihm hatte sich 1925 Hertha Sponer habilitiert – als zweite Frau überhaupt in Göttingen (nach der Mathematikerin Emmy Noether). Pohl, der eine akademische Laufbahn von Frauen ablehnte, war von Sponers Leistungen nicht überzeugt und opponierte gegen ihre Habilitation. Nach der Emigration von Franck, bei dem sie habilitiert hatte, betrieb Pohl ihre Entlassung. Es kam zu einem schweren Bruch zwischen Pohl und Franck, der erst einige Zeit nach 1945 wieder gekittet wurde.

### „Göttinger Verheimlichungen“

In Göttingen wechselte Pohl 1920 von der Festkörperoberfläche zum Inneren von Kristallen. Pohl hoffte, „allmählich einiges über die Lage der Bohrschen Elektronenbahnen im Kristallgefüge zu finden“ und „das Riesenmolekül des Kristalls zu entschleiern“ – also eine Bohrsche Physik im Festkörper zu treiben, wie man rückblickend sagen könnte. Doch schien die elektrische Leitung in Isolatoren bzw. Halbleitern recht kompliziert. Pohl schilderte in einem seiner Leit-„Bilder“, dass die verwickelten

Erscheinungen des Photoeffekts im Inneren von Selen (das optisch nicht zugänglich, da nicht transparent war) so etwas wie die verwickelten Erscheinungen der Gasentladungen seien, bevor man die Kathodenstrahlen gefunden hatte.

Optische Zugänglichkeit war ein Hauptgrund, warum ab 1924 die Alkalihalogenidsalze hauptsächlicher Untersuchungsgegenstand am Institut wurden. Pohl fand in Kristallen unabhängig von ihrer Behandlung (z. B. mit Röntgenlicht, chemisch oder nach der Injektion von elektrischen Strömen) immer die gleichen charakteristischen Färbungen, kombiniert mit spezifischen elektrischen Leitungsphänomenen.

Entscheidend für den Forschungsschwenk zu Alkalihalogeniden war auch, dass es in seinem Institut gelang, besonders reine synthetische Kristalle erstmals aus der Schmelze zu ziehen (Abb. 2). Als direkte Anregung, vielleicht sogar primär, diente eine – damals wie heute völlig verkannte – immens detailreiche Arbeit über Steinsalzkristalle und Röntgenstrahlen von Wilhelm Conrad Röntgen von 1921 (in Teilen zusammen mit Abram Joffe begonnen). Sie war, wie immer bei Röntgen, sorgfältigst bis maximal umständlich, jedem Seitenweg nachgehend, ausgeführt und bekam schließlich die sagenhafte Länge von 190 Seiten, die längste Einzelarbeit, die je in den

Annalen der Physik veröffentlicht wurde. Wahrscheinlich hat sie niemand vollständig durchgelesen und bearbeitet – außer Pohl, wie sein ausgiebig angestrichenes erhaltenes Exemplar bezeugt. Röntgen hatte gefunden, dass durch Bestrahlung verfärbtes Steinsalz etwa 40 000-mal leitfähiger war als farbloses. Diese Leitfähigkeit hing stark selektiv von der Lichtwellenlänge ab, mit ausgeprägten Maxima. Im zartgelben Steinsalz fand er auch keine kolloidalen Teilchen im Ultramikroskop. Im Prinzip charakterisiert dieses Problem schon fast einen Großteil der berühmten Forschung des Pohl-Instituts: Was war diese Färbung, was bedeuteten die Maxima, wie sah das bei anderen Salzen aus? Was waren das für Teilchen, die sogar im Ultramikroskop unsichtbar blieben?#)

Kristalle ließen sich immer reiner herstellen, die Absorptionskurven immer genauer ausgemessen und die lichtelektrischen Messdaten wurden immer reproduzierbarer. Die Absorptionsspektroskopie wurde damit auch im Hochvakuum zum ersten Mal zu einer exakten Messtechnik (Abb. 3). Dabei untersuchten Pohl und seine Mitarbeiter die Quantenausbeute photoelektrisch, wobei sie die Temperaturen – in Zusammenarbeit mit der PTR in Berlin – bis zu der des flüssigen Wasserstoffs senken konnten. Dabei gelang es dem Institut, lange bevor es seine eigenen Früchte ernten konnte, auch Geburtshelfer einer nobelpreisgewürdigten Entdeckung zu werden, der Entdeckung des Vitamins D – durch die Übertragung der Absorptionsspektroskopie auf die organische Chemie.

Trotzdem, großen Ruhm schien diese Forschung nicht zu bringen, wie auch alle Mitarbeiter Pohls in den 20er- und 30er-Jahren zu fühlen meinten. Die großen physikalischen Themen dieser Zeit kreisten ja um Atom- und erste Molekülphysik, mit Quantentheorie und dann Quantenmechanik. Dazu kam, dass Pohl viele Arbeiten dieser Zeit in den nicht sehr verbreiteten Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen veröffentlichen ließ, von

#) Das Ultramikroskop macht Teilchen durch Lichtbeugung sichtbar (Tyndall-Effekt).

R. Hilsch, Angew. Chemie 49, 69 (1936)

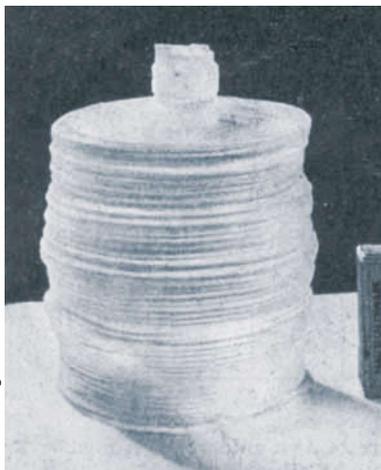


Abb. 2 Ein künstlicher Kaliumchlorid-Kristall, der am Institut von Robert Pohl gezüchtet wurde.

den Mitarbeitern mitunter bissig statt kurz Göttinger Verhandlungen nur „Göttinger Verheimlichungen“ genannt. Bedeutung für technische Anwendungen andererseits war eher glaubhaft und zeigte sich auch mitunter, obwohl Pohl Grundlagenforschung und technische Anwendung scharf voneinander trennte.

Für die Ursachen der scharfen Maxima bei den Alkalihalogenosalzen wurde im Institut der Lenardsche Name Farbzentren (kurz F-Zentren) eingeführt – ohne dass konsistente Theorien dazu „erlaubt“ waren. Die wichtigsten Mitarbeiter Rudolf Hilsch, Erich Mollwo, dann Heinz Pick, versuchten es selten und vergeblich. Sie waren es auch (mit manchen anderen), die immer mehr die konkrete Arbeit durchführten.

Als Leit-„Bild“ für das Farbzentrum wählte man im Allgemeinen Zwischengitteratome des betreffenden Alkalis selbst, an das sich Elektronen anlagern konnten. Wie Schuppen fiel es erst den Theoretikern der internationalen Konferenz in Bristol über „Conduction of Electricity in Solids“ (1937) von den Augen, als sie alle Göttinger Ergebnisse von Pohl in komprimierter Form berichtet bekamen. Nicht Zwischengitteratome, sondern Anionenleerstellen, also Potentialtöpfe mit eingefangenen Elektronen, mussten die Farbzentren sein.

Die visuelle Welt der Farbfekte hatte Pohl reduziert auf die Schemata der Absorptionsmaxima. Doch dieses Schemata-Programm,

gewachsen aus der Entwicklung eines umfassenden Experimentiersystems, das von allen Mitarbeitern exzellent beherrscht wurde (z. B. Kristallzüchtung, elektrometrische Messung geringster Ströme, Spektroskopie), blieb Leitfaden vor allem für jede Erweiterung oder auch Reduzierung durch neue Versuche. Theoretische Vertiefung blieb ungeliebt und ausgespart. Kaum ein Theoretiker in Deutschland interessierte sich zudem dafür – mit einer bedeutenden Ausnahme: Walter Schottky.

Es liegt ein wenig Tragik darin, dass zwei in ihren Bereichen geniale Forscher wie Schottky und Pohl nicht miteinander kommunizieren konnten. Schottky schrieb ellenlange Briefe nach Göttingen, sein Problem des Gleichrichtereffekts von Kupfer(I)oxid bei Siemens schien durch das Konzept von Leerstellen und Defektelektronen ähnlich lösbar wie seiner Meinung nach das der Alkalihalogenosalze durch Leerstellen und Elektronen. Er hatte schon seine Theorie der „Schottky-Defekte“, direkt angeregt durch Pohls Alkalihalogenidforschung, zur Verfügung, Zwischengitteratome waren bei diesen Salzen energetisch unwahrscheinlich – doch Pohl ging ihm aus dem Weg. Theoretiker und Experimentalphysiker blieben meilenweit voneinander entfernt, auch persönlich: Die Kürze Pohls passte nicht zum weitschweifenden Denkstil Schottkys. In den späten 30er-Jahren verhärtete sich auch Pohls Abneigung gegen theoretische „Spekulationen“. Wilsons Bändertheorie (ab 1931) lehnte er völlig ab. Noch 1946 durfte Joseph Stuke seine Dissertation mit der Entdeckung der Eigenleitung von Germanium nur einreichen, weil er die Bändertheorie außen vor ließ.

### Organisator und Lehrer

Pohls Genius andererseits zeigte sich nicht nur in der Entwicklung eines so selbst gesteuert erfolgreichen „Experimentalsystems“. Er selbst zog sich schon in den 20er-Jahren immer mehr aus der experimentellen Detailarbeit zu-

rück. Er war auch ein blendender Wissenschaftsorganisator und wusste, wie er Außenstehende beeindrucken konnte. Natürlich halfen eindrucksvoll vorgeführte Phänomene. Sarkastisch schildert er, wie man Industrielle nicht gewinnen könne: Ein Physiker hätte einmal um Fördermittel geworben, indem er begeistert schilderte, wie er ein weites Erscheinungsbild in eine ungeheuer einfache Formel  $f(x) + f(y) = 0$  fassen könne, worauf er die Antwort erhielt: Ja, wenn das alles null sei, warum interessiere ihn das noch?

Dem Dritten Reich gegenüber blieb Pohl reserviert – er galt als nicht linientreu. Äußerungen Dritter zeugen von Ablehnung, auch wenn er an eine bevorstehende Katastrophe nicht glauben wollte, die ihm Franck noch vor seinem Weggang 1933 ausmalte. Gegen die Diffamierung theoretischer Physik durch den Nationalsozialismus wehrte er sich verbal. Zu mindestens einer Person des 20. Juli 1944, Hermann Kaiser, der Gymnasiallehrer für Mathematik und Physik war, hatte er auch persönliche Beziehungen. Er sollte für den Widerstand gewonnen werden. Doch zeigte er sich auch hier reserviert (was ihm sicher das Leben rettete).

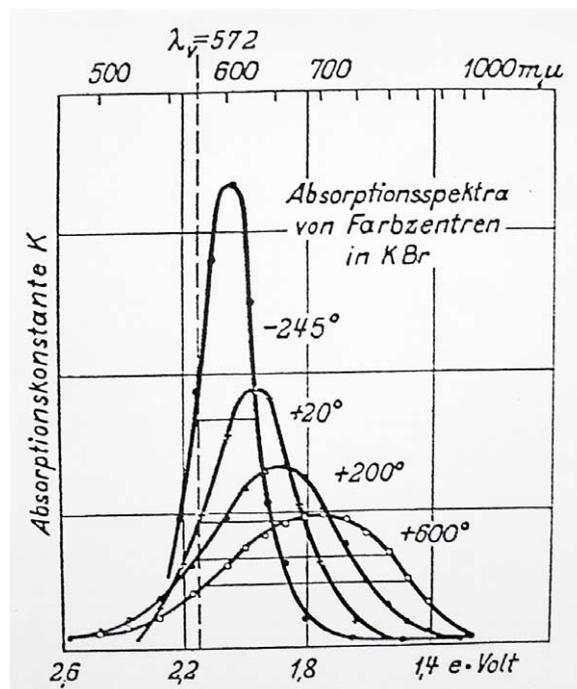


Abb. 3 Absorptionsspektren von Farbzentren in Kaliumbromid aus einer Veröffentlichung aus dem Jahr 1933 von Erich Mollwo (1909 – 1993), der zu den wichtigsten Mitarbeitern Pohls zählte.

**Abb. 4** Robert Otto Pohl demonstriert anhand des Versuchs zur elastischen Verformung von Kupferdraht die Schattenriss-Projektion, die sein Vater in den Experimentalphysikvorlesungen eingeführt hat.



Pohls berühmtes pädagogisches Talent spiegelt sich schon in seiner experimentellen Forschung (z. B. im eindrucksvoll sichtbaren scheinbaren Wandern von Elektronen als Farbwolken; in Kaliumbromidkristallen hieß es: „Elektronen sind blau“) und natürlich umgekehrt. Sein experimenteller Vorlesungsstil, ohne festes Lehrpult, viele Versuche im projizierten Schattenriss, wurde vorbildlich (Abb. 4). Walther Gerlach meinte allerdings, dass die Anfängervorlesungen Pohls „vielleicht zu weitgehend“ schematisiert wurden. Ein Medizinstudent, der bei Pohl gehört hatte, hätte etwa auf die Frage nach dem elektrischen Kondensator geantwortet: Auf einer Dreikantschiene sitzen zwei Reiter, die zwei vertikale Metallplatten tragen. Pohls Lehrbücher der Experimentalphysik gab es von 1927 in zahlreichen weit genutzten Auflagen, auch in vielen Fremdsprachen.<sup>4)</sup>

1952 wurde Pohl emeritiert. Er hatte schon seit etwa 1940 die komplexe Entwicklung des neuen Gebiets Festkörperphysik nicht mehr mit verfolgt. Nun wollte er auch freiwillig gehen, gemäß seines Gesamturteils über seinen ersten Hochschullehrer Quincke, den er nur als alten Herrn kennengelernt hatte: ein sehr bedeutender Mann, der nicht rechtzeitig aufgehört hat. Pohl nahm noch bis Ende der Sechzigerjahre regen Anteil am physikalischen Geschehen um ihn herum, arbeitete vor allem weiter an den neuen Auflagen seiner Physikbücher. Naturwissenschaftliche

Veröffentlichungen las er kaum noch, interessierte sich jedoch weiter für historische Werke und religiöse Fragen, allerdings nie für Philosophie: Sie sei der Missbrauch einer eigens zu diesem Zweck erfundenen Sprache.

### Späte Anerkennung

Die große Nachwirkung der Forschungen des Pohl-Instituts begann in der Tat erst nach 1945, von Frederick Seitzs einflussreichen Reviews angestoßen: „It is a rather remarkable characteristic of this work that, although the investigators have never had a very deep interest in the fundamental interpretation of the properties of the discoloured alkali halides in terms of modern atomic theory, the experiments they have carried out have been exactly those that are needed to furnish the basis for such an interpretation.“

Wie war es möglich, dass in der so „theorieexplosiven“ ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts in der Physik ein reines Experimentalprogramm, fast isoliert, genau diese „Basis“ für alle theoretische Interpretation liefern konnte? Für wesentliche Teile dieses Programms genügte zunächst die klassische Physik. Auch führten unzureichende Thesen, wie Zwischengitteratome, nicht in falsche Richtungen. Umgekehrt, mit der Isolator- und Halbleiterphysik öffnete sich ein neues Teilgebiet der Physik, dessen experimentelle

Möglichkeiten zunächst vielfältigst und unüberschaubar waren. Hier konnten einfache „Bilder“ Pohls mit viel wissenschaftlicher Intuition und hohem experimentellem Geschick einen brauchbaren Weg durch das Dickicht der „Tatsachen“ finden. Isolierte theoretische Erklärungen dagegen konnten, und taten es auch, schnell ins Abseits führen. Das änderte sich nachhaltig erst ab etwa 1937, als die Physik des „nearly perfect crystal“ auch theoretisch langsam ein ausführlicheres eigenes Fundament erhielt. Wie in anderen Bereichen führten allerdings auch hier der Krieg und seine Nachfolgeerscheinungen dazu, dass diese Forschung außerhalb Deutschlands erheblich nährhafteren Boden fand.

- R. W. Pohl, Gedächtnis-Kolloquium am 29. November 1976, Musterschmidt, Göttingen (1978)
- W. Gerlach, Robert Wichard Pohl, in: Jahrbuch der Bayerischen Akademie der Wissenschaften 1978, S. 217
- E. Steker, Einfachheit ist das Zeichen des Wahren – Leben und Werk des Physikers Robert Wichard Pohl, DVD zu K. Lüders und R. O. Pohl (Hrsg.): Pohls Einführung in die Physik, Bd. 2: Elektrizitätslehre und Optik, 23. neu bearb. Aufl., Springer, Berlin (2009)
- J. Teichmann, Zur Geschichte der Festkörperphysik-Farbzentrenforschung bis 1940, Franz Steiner, Stuttgart (1988)
- G. Rammer, Die Nazifizierung und Entnazifizierung der Physik an der Universität Göttingen, Dissertation, Univ. Göttingen (2004), <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2009/rammer/>

### DER AUTOR

**Jürgen Teichmann** studierte Physik in Münster und München und wurde 1972 in Geschichte der Physik promoviert. Er habilitierte sich 1987 und wurde 1993 Professor an der Universität München. Ab 1970 war er Mitarbeiter am Forschungsinstitut des Deutschen Museums München und wurde später Direktor der Hauptabteilung Bildung. Teichmanns Arbeitsgebiete sind u. a. Geschichte der Elektrizität, Festkörperphysik und Astronomie sowie die Rekonstruktion historischer Experimente.



<sup>4)</sup> Die Bände zu Mechanik und Akustik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre und Optik sind in zwei Bänden kürzlich neu bearbeitet im Springer-Verlag aufgelegt worden. Diese enthalten DVDs mit Experimenten nach Pohl. Außerdem erschienen ist die DVD „Physikalische Experimente nach Robert Wichard Pohl“, IWF Wissen und Medien, Göttingen (2006), zu beziehen über [www.iwf.de](http://www.iwf.de).