



Konstruieren Kommunizieren Präsentieren

Bilder von
Wissenschaft und Technik

Wallstein

Herausgegeben von
Alexander Gall

Deutsches Museum
Abhandlungen und Berichte
Neue Folge, Band 23

Herausgeber: Deutsches Museum
Redaktion: Prof. Dr. Helmuth Trischler,
Rolf Gutmann, Dorothee Messerschmid

Inhalt

WOLFGANG M. HECKL	
Vorwort	7

ALEXANDER GALL	
Konstruieren, kommunizieren, präsentieren.	
Zur Einführung	9

I. Instrument

PETER HEERING	
Vom Sehen zum Verstehen. Aspekte der visuellen Kultur	
mikroskopischer Demonstrationen des 18. Jahrhunderts	25

STEFAN DITZEN	
Diamantene Präzision und das <i>Vaterunser</i> im Mikrokosmos	53

STEFAN SIEMER	
Bildgelehrte Geotechniker.	
Luftbild und Kartographie um 1900	69

ARNE SCHIRRMACHER	
Einsicht in die Materie.	
Konjunktoren und Formen von Atombildern	109

II. Medium

ANDREAS KÜHNE UND LISA KIRCH	
Die »Herschel-Porträts« und der Wandel	
der Wissenschaftsrepräsentation	149

DOROTHEA PETERS	
Die Welt im Raster. Georg Meisenbach	
und der lange Weg zur gedruckten Photographie	179

CHERYCE KRAMER	
»© Bettmann/CORBIS« – Techniken der Sichtbarmachung	
von historischem Bildmaterial	245

MARTINA HESSLER

Die »Mona Lisa der modernen Wissenschaften«.

Die Doppelhelix-Struktur als kulturelle Ikone 291

III. Museum

EVA A. MAYRING

»Bilder einer Ausstellung« –

Technik- und Industriegemälde des Deutschen Museums . . . 319

STEFFEN BOGEN

Duchamp in München.

Ein Technikmuseum macht Kunstgeschichte 347

HEIKE WEBER

Technik im Photoalbum: Die Bilderschau »Technik im Bild«

am Deutschen Museum 397

JOCHEN HENNIG

Wissensbilder und Bilderwissen in Wissenschaftsmuseen.

Das Konzept der Ausstellung »Atombilder« 435

Abbildungsnachweise 461

Die Autorinnen und Autoren 465

Personenregister 469

Arne Schirmmacher

Einsicht in die Materie

Konjunkturen und Formen von Atombildern *

Unsere Gegenwart bringt als »visuelles Zeitalter« nicht nur eine allgegenwärtige Bilderflut im Alltagsleben mit sich,¹ auch gegenüber den Naturwissenschaften besteht wie selbstverständlich die Erwartung, eine totale Sichtbarmachung der Natur leisten zu können – seien es die Vorgänge im menschlichen Körper, das Leben der Tiefsee oder die Struktur der Atome. Dies korrespondiert mit allgemeinen und tiefverankerten kulturellen Normen und Traditionen. Das 20. Jahrhundert war indes noch von einer Unsicherheit geprägt, inwieweit die Bilder-, Modell- und »Welterzeugung« nicht an Grenzen der Machbarkeit und der Dienlichkeit für ein allgemeines Publikum stoßen würde.² Heute vermag hingegen weder ein Hinweis auf die Unbestimmtheitsrelation der Quantenmechanik die Abbildbarkeit atomarer Strukturen und Prozesse in Frage zu stellen, noch ist die Feststellung, dass das Auflösungsvermögen von Mikroskopen naturgemäß begrenzt ist, geeignet, zur Vorsicht gegenüber der Adäquatheit von visuell attraktiven Darstellungen, etwa bei biologischen Strukturen, zu mahnen.³

Zur Illustration dieser Problematik mag ein Blick in den Tätigkeitsbericht der Max-Planck-Gesellschaft für das Jahr 2005 genügen: Unter der – streng genommen irreführenden – Überschrift »Neues Gesetz zur Auflösung in der Lichtmikroskopie ermöglicht Bilder in bisher ungekannter Schärfe« wird der Leser hier über die Arbeiten der »Abteilung Nano-Biophotonik« am Göttinger Max-Planck-Institut informiert, die gezeigt hätten,

* Dieser Beitrag basiert in Teilen auf einem Vortrag am Wissenschaftsmuseum der Universität Utrecht vom 4. Oktober 2004 im Rahmen der Tagung »Artefacts VII: From Shiny Objects to Black Boxes«, der die Rolle wissenschaftlichen Objekte bei der Bilderzeugung in den Vordergrund stellte, vgl. Schirmmacher, *Looking*, 2006. Für hilfreiche Diskussionen und konstruktive Kritik möchte ich Jochen Hennig, Charlotte Bigg und Alexander Gall danken.

1 Vgl. etwa Glotz, *Zeitalter*, 1994; Mitchell, *Pictorial Turn*, 1994.

2 Heßler, *Sichtbarkeiten*, 2006; Giere, *Cognitive models*, 1992; Goodman, *World-making*, 1978.

3 Heisenberg, *Inhalt*, 1927; Schickore, *Impediment*, 2001.

»dass in der Fluoreszenzmikroskopie, die für die Biologie eminent wichtig ist, die Beugungsgrenze aufgehoben werden kann. [...] Abbes Formel, etabliertes Lehrbuchwissen und in einer Jenaer Gedenkstätte in Stein gemeißelt, galt für mehr als ein Jahrhundert als praktisch unüberwindbar [...]. Nur ein neues physikalisches Konzept konnte eine radikale Auflösungserhöhung leisten.«⁴

Anders als im gesellschaftlichen Bereich, wo die Änderung von Gesetzen Neues durchaus ermöglicht, enthüllt die Natur ihre Geheimnisse kaum infolge einer Anpassung an eine veränderte Gesetzeslage; vielmehr geht es um neue Verfahren und Apparaturen und – hier besonders von Interesse – neue Definitionen und Akzeptanz für bildliche Repräsentationen der Natur. Erst eine genauere Betrachtung dieses aktuellen Beispiels aus dem Bereich der Fluoreszenzmikroskopie würde zeigen, wie hier die heutige Relation zwischen Wissenschaft und Publikum, der allgemeine Drang zur Medialisierung der Wissenschaft und die von einer breiteren Öffentlichkeit ausgehende Nachfrage nach visualisierten Ergebnissen eine komplexe Wechselwirkung eingehen.⁵ Die bewusste »Unschärfe« in den Formulierungen von Pressemitteilung und Jahresbericht, die sich an ein Publikum außerhalb des speziellen wissenschaftlichen Faches richten, scheint die öffentliche Erwartung übererfüllen zu wollen: Ohne dies explizit auszusprechen, wird durch die »Schärfe«-Rhetorik nahegelegt, dass die übliche Lichtmikroskopie von einer Barriere befreit würde, die bisher die Scharfstellung des Bildes verhinderte. Die (weiterhin gültige) Theorie der Lichtmikroskopie beschreibt indes, dass Beugungserscheinungen zwangsläufig das Bild verschwimmen lassen, wenn man Strukturen aufzulösen versucht, die geringer als etwa die halbe Lichtwellenlänge sind. Während in der Pressemitteilung das Rätsel, wie »Lichtmikroskopie« diese Schranken überwinden kann, ungelöst bleibt,⁶ findet sich im Jahrbuch nach einer längeren Darstellung der Geschichte der Lichtmikroskopie und Abbes Formel schließlich die Erklärung des »Tricks«:

»Dieser Trick besteht nun darin, dass die Forscher den Fluoreszenzmarker vorübergehend und lokal in einen nicht-fluoreszierenden Zustand überführen, und zwar so, dass die Fluoreszenz am Ende aus einem räumlichen Bereich stammt, der enger als der Lichtfleck des

4 Hell, *Gesetz*, 2005, ähnlich auch die Pressemitteilung B 40/C17/2005 (82) »Lichtmikroskopie in ungekannter Schärfe« der MPG vom 2. Juni 2005.

5 Zu ähnlichen Fällen vgl. Weingart, *Stunde*, 2001, Kapitel 6.

6 Für »Detailinformationen« wird auf einen weiteren Text verwiesen.

Anregungslichts ist. Auflösungen jenseits der Beugungsgrenze erreicht man einfach [sic!] dadurch, dass man die Probe mit diesem schärferen Spot abrastert und das Bild Punkt für Punkt erstellt, indem man die jeweils registrierte Fluoreszenzintensität mittels eines Rechners aneinanderreihet.«⁷

Die hier ersichtlich werdende Technik hat nun offenkundig wenig mit dem zu tun, was das angesprochene Publikum unter Lichtmikroskopie üblicherweise verstehen dürfte und worauf der Text in einiger Ausführlichkeit zunächst einging. Vielmehr erscheint erstens eine Bezeichnung wie Raster-Fluoreszenz-Mikroskopie weit adäquater, eine Begrifflichkeit, wie sie am Anfang der Forschungen auch verwendet wurde.⁸ Zweitens ist der Hinweis unverzichtbar, dass die Methode ausschließlich für fluoreszenzmarkierbare Objekte anwendbar ist,⁹ wobei erst die Wechselwirkung des Lichtes mit diesem hinzugefügten Markierungsstoff das ansonsten unsichtbare Objekt indirekt abbildet. An öffentlicher Aufmerksamkeit bestand indes für diese Methode kein Mangel, sie wurde 2006 mit dem Zukunftspreis des deutschen Bundespräsidenten bedacht¹⁰ und wird seitdem im Deutschen Museum ausgestellt (Abb. 1).¹¹

7 Max-Planck-Gesellschaft: *Jahrbuch*, 2005, online: http://www.mpg.de/bilderBerichteDokumente/dokumentation/jahrbuch/2005/biophysikalische_chemie/forschungsschwerpunkt/index.html (zuletzt besucht am 22.6.2007).

8 Auch wird der Eindruck einer gewissen Inszenierung der Ergebnisse dadurch verstärkt, dass die Forschungen von Hell und Mitarbeitern, die sich seit etwa Mitte der 1990er Jahre mit dem Thema beschäftigen und ihre Methoden stetig verbessern, gerade zum 100-jährigen Jubiläum von Abbes Formel an die Öffentlichkeit herangetragen wurden. Vgl. Hell/Kroug, *Ground-state 1995*. In Fachveröffentlichungen heißt das Verfahren simulated emission depletion microscopy bzw. STED microscopy.

9 Also Proben, die wie Fluorit, Uranverbindungen oder Salze von Seltenerdmetallen, die selbst fluoreszieren, oder Proben, in die fluorszierende Stoffe erst eingelagert wurden etwa durch Antikörper-Fluoreszenzfarbstoffe, die an Biomoleküle ankoppeln.

10 <http://www.deutscher-zukunftspreis.de/newsite/2006/> (zuletzt besucht am 22.6.2007).

11 <http://www.deutsches-museum.de/ausstellungen/neue-projekte/zukunftspreis/> (zuletzt besucht am 22.6.2007). Das aus einer Videostation, einer Musterapparatur und einer Bildsimulation bestehende Ausstellungsmodul zur »Entwicklung des STED-Mikroskops« vermittelt hingegen die Einsatzmöglichkeiten und das Abtastverfahren zur Bildkonstruktion explizit.

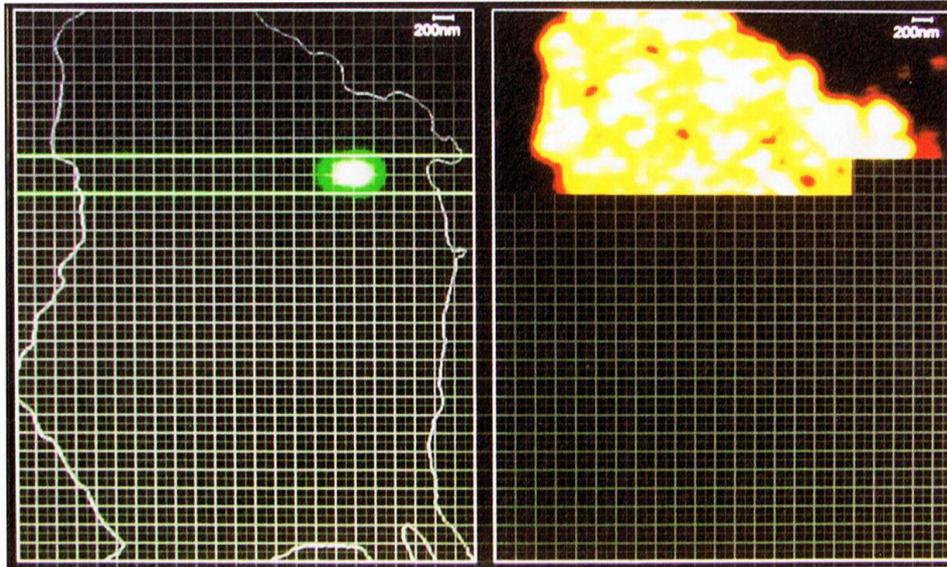


Abb. 1: Bildgenerierung durch Abtasten einer fluoreszenzmarkierten Probe mit dem STED-Mikroskop.

Diese kurze Skizze einer aktuellen Episode von der Schaffung eines zwar nun »beugungsunbegrenzten«, aber auf andere Weise eingeschränkten »Blicks in die Nanowelt«¹² mag hier genügen, um drei Fragen aufzuzeigen, die sich zu Wissenschaft und Bildern des Mikrokosmos allgemein stellen und denen sich dieser Beitrag im Folgenden aus historischer Perspektive widmet:

Auf die spezifische Bildproduktion bezogen, ist *erstens* zu fragen, wie weit sich das alltägliche Sehen durch wissenschaftliche Apparaturen verfeinern ließ, die Sichtbarkeitsgrenzen erweitert wurden und in welchem Verhältnis theoretisch postulierte Strukturen, mikroskopisch betrachtbare Bilder und Computer-assemblierte bzw. -konstruierte Repräsentationen der Mikrowelt standen. In Hinblick auf Bilder als vermittelnde (oder »interdiskursive«) Elemente zwischen Wissenschaft und ihren Publika ist *zweitens* zu bestimmen, welchen Nutzen die Wissenschaft von den bildlichen Darstellungen eines Forschungsobjektes hatte und welchem Interesse eines breiteren Publikums diese Bilder entsprachen. Von einer höheren historischen Warte aus ist *drittens* zu beschreiben, welche Konjunkturen es für das Angebot und die Nachfrage von bildlichen Darstellungen sowohl innerhalb als auch außerhalb der Fachwissenschaft gegeben hat.

¹² Hell, *Gesetz*, 2005.

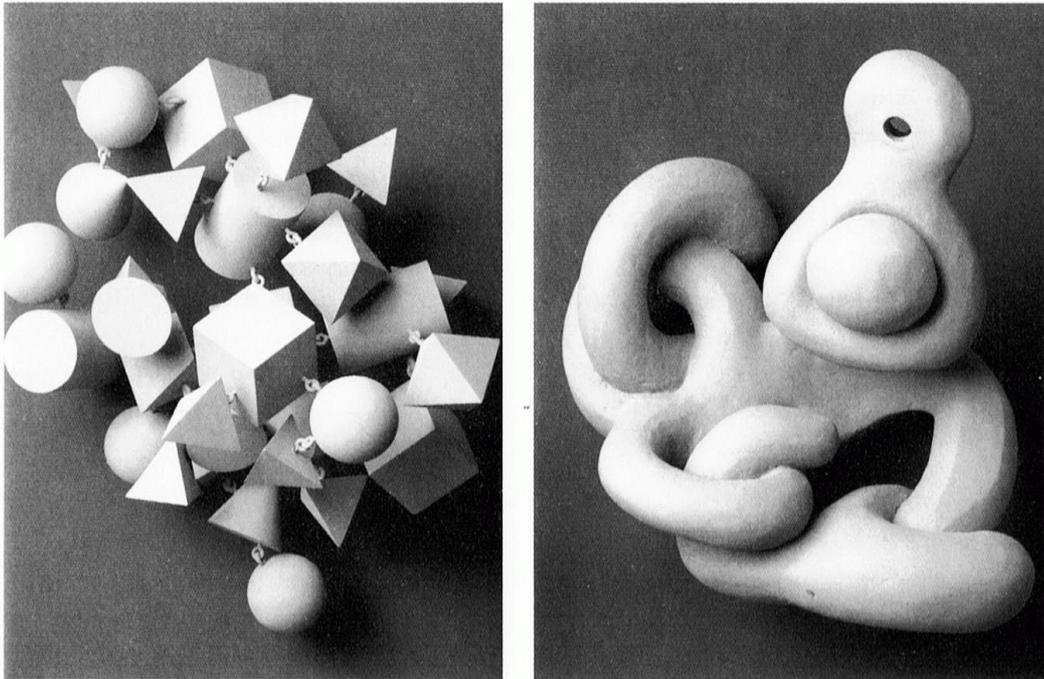


Abb. 2 a/b: Atommodelle im Deutschen Museum.

Die bildlosen Atomisten

Dass die Bildbenutzung in Naturphilosophie und Naturerforschung keine gleichsam anthropologische Konstante der Wissenschaft darstellt, zeigt der genauere Blick auf ein weiteres Exponat des Deutschen Museums. Entsprechen die Atommodelle (Abb. 2 a/b), die für die Ausstellung Atomphysik angefertigt wurden, um die Atomvorstellungen von Demokrit und Lukrez darzustellen, wirklich einer Ikonographie des Atoms, die es in der griechischen Antike oder im Römischen Reich gegeben hat?¹³

Zweifellos war Demokrit einer der ersten Atomisten, doch sind authentische Quellen seiner Lehren kaum überliefert. Erst in den Schriften seines 300 Jahre jüngeren Adepten Lukrez findet sich der Text, auf den sich die angefertigten Atommodelle stützen. Im zweiten Kapitel von *De rerum natura* heißt es:

13 Zum Begriff der Ikonographie des Atoms vgl. Lefèvre/Renn/Schöpflin, *Power*, 2003; Miller, *Imagery*, 2003; Galison, *Images*, 2002.

Daraus schließt man mit Recht, daß aus glatten und runden Atomen
Alles besteht, was unseren Sinn wohltuend berührt:
Alles, was bitter hingegen und rauh scheint, muß durch Atome,
Die mehr Haken besitzen, genau miteinander verknüpft sein.
Deshalb pflegen sie auch die Wege zu unseren Sinnen
Aufzuritzen und so den Eingang zum Körper zu brechen.¹⁴

Wir finden hier alles, was auf eine klare und eindeutige Modellierung der Atome – inklusive deren implizite Unteilbarkeit – hinausläuft. Doch zeigt ein Blick in das lateinische Original dieses Textes, dass der Fall bei weitem nicht so klar ist, wie es zunächst scheinen mag.

ut facile agnoscas e levibus atque rutundis
esse ea quae sensus iucunde tangere possunt,
at contra quae amara atque aspera cumque videntur,
haec magis hamatis inter se nexa teneri
proptereaque solere vias rescindere nostris
sensibus introituque suo perrumpere corpus.

Der Begriff Atom erscheint im Original überhaupt nicht und wurde auch in der englischen Standardübersetzung vermieden, die an dessen Stelle den Elementbegriff verwendet.¹⁵ Zwar spricht Lukrez von Elementen, aber damit sind Feuer und Wasser ebenso gemeint wie primordiale Objekte (*primordia rerum*), allerdings nicht in diesem Textabschnitt. Stattdessen finden sich Überlegungen zu »größeren Elementen«, die man in Olivenöl finden könne, nur wenige Zeilen vor der zitierten Stelle, die einer Lesart von Elementen als primordialen Objekten, welche ohne Farbe, Geschmack und andere Eigenschaften sein müssen, hier widerspricht.

Wo der deutsche Übersetzer Atome bemüht, steht im Originaltext lediglich »ea quae« also »diejenigen [Objekte, Dinge, Körper, Formen etc.], die«, eine sprachliche Konstruktion, die weiten Raum für Interpretationen lässt. Was wir in den Übersetzungen lesen, ist folglich zu einem gewissen Teil weniger Lukrez geschuldet als dem Verständnis, das der Übersetzer zu seiner Zeit vom Atomismus hatte.

Es geht mir in diesem Beitrag nicht darum, die Adäquatheit der Atommodelle (Abb. 2 a/b) für eine Ausstellung in Frage zu stellen, noch zu beurteilen, welche Aussagekraft einem Lehrgedicht aus dem ersten vor-

¹⁴ Lukrez, *Natur*, 1957, S. 73.

¹⁵ Vgl. die häufig wiedergedruckte Übersetzung Leonard, *Nature*, 1916.

christlichen Jahrhundert zukommt, in dem dichterische Form und Sprache wichtiger sein mag als strenge Genauigkeit in der Beschreibung der Sachverhalte. Der entscheidende Punkt ist vielmehr, dass es in Demokrits und Lukrez' Schriften überhaupt keine Modelle oder Bilder vom Atom gab! Wir müssen uns vergegenwärtigen – und dies vielleicht auch in geeigneter Form in Ausstellungen berücksichtigen –, dass es Zeiten in der Geschichte gab *ohne* bildliche Darstellungen der zeitgenössischen Materiekonzeptionen.¹⁶

Die Erfindung der atomistischen Ikonographie

Erst vor wenigen Jahren hat Christoph Lüthy überzeugend gezeigt, dass vor dem späten 16. Jahrhundert keine Ikonographie des Atoms existierte. Insbesondere seine Suche nach Darstellungen von Atomen in mehr als 70 Ausgaben von Lukrez' *De rerum natura*, die zwischen dem späten 15. und dem frühen 18. Jahrhundert erschienen, förderten lediglich einige dramatisierende Illustrationen zu Tage, aber keine bildlichen Darstellungen von den Bausteinen der Materie.¹⁷

Der Grund, der eine auch nur sprachliche Verbildlichung etwa des kugelförmigen Atoms verhinderte, lag im Aristotelismus und der scholastischen Tradition. Für Aristoteles waren natürliche Körper kontinuierlich und homogen, und während sie gewissen »Formen« entsprachen, folgte daraus noch lange nicht, dass es möglich oder sinnvoll war, Bilder von ihnen anzufertigen. Denn Form (griech. *εἶδος*) oder Gestalt (griech. *μορφή*), anders als Figur (lat. *figura*), meinte logische Prinzipien oder Denkformen, nicht graphische Darstellungen oder Abbildungen. Obwohl Geometrie in der Naturphilosophie eine wichtige Rolle einnahm, waren es idealisierte Beziehungen der (mathematischen) Geometrie der Formen, die das Interesse der antiken Denker fanden, und nicht die physikalische Geometrie der Natur. Die scholastische Tradition fügte dem kaum Illustrationen hinzu, die »notorisch wenigen« bildlichen Darstellungen waren nichts als »scheinbar endlose Kommentare«.¹⁸ Wenn Bilder

16 Vgl. allgemein zu Epochen ohne »Tatsachen«, »Beweise« oder »Objektivität« Daston, *Wunder*, 2005.

17 Lüthy, *Invention*, 2003, S. 122. Hier wird eine Illustration aus dem Jahr 1683 diskutiert, die vielleicht als Abbildung von Atomen interpretiert werden könnte, die These wird dann aber verworfen.

18 Murdoch, *Album*, 1984, S. X.

erschieden, dann illustrierten sie graphisch die Beziehungen, wie etwa das weitverbreitete Zwiebelschalenmodell geordneter Inklusionen.

Mit der Renaissance brach sich auch die platonische Sichtweise wieder Bahn, die eine Entsprechung zwischen regelmäßigen Körpern und den Elementen postulierte. Auch griff Kepler das Denken in idealen Formen für die Bestimmung der Abstände zwischen den Planetenbahnen im Sonnensystem auf, die sich aus einem Ineinanderdenken der platonischen Körper ergeben sollten. Während sich diese Vorstellung allgemein etablieren konnte, gelang jedoch keine in gleicher Weise überzeugende Korrespondenz zwischen den (mathematischen) Formen und den Substanzen. Platos Versuch etwa, keilförmige Pyramiden mit Feuer in Beziehung zu setzen, wurde von frühmodernen Denkern nicht auf überzeugende Weise fortentwickelt.

Lüthy förderte schließlich ein ganzes Bildprogramm vom kugelförmigen Atom in Giordano Brunos *De triplici minimo et mensura* aus dem Jahre 1591 zu Tage, einschließlich des Verweises auf Demokrit und der Verwendung des Begriffes »Atom«. Diese Geburtsschrift der atomaren Ikonographie löste jedoch keine Revolution der zeitgenössischen Materietheorien aus; im Gegenteil findet man Brunos neue Bildlichkeit verwoben in ältere theologische, arithmetische und numerologische Spekulationen. Von diesem historischen Ballast sollten erst Kepler, Jungius oder Descartes die neue Ikonographie befreien und sie innerhalb ihrer Theorien und Philosophien interpretieren. Zusammenfassend stellt Lüthy fest:

»[T]he globular atom is an invention of the late sixteenth century. Neither did it exist before, nor did its invention seem very useful at first. Instead, the globular particle of matter is a strange outgrowth of Renaissance speculation which required decades of reinterpretation before it began to seem useful here and there as a possible tool for the explanation of certain natural phenomena.«¹⁹

Atomikonographische Konjunkturen im 20. Jahrhundert

Die Geschichte der Atomikonographie ist im Wesentlichen von lediglich drei Grundtypen dominiert: der Kugelform, der Struktur eines Planetensystems und dynamischen räumlichen Dichtestrukturen einer Prämaterie (Wirbel, Felder, Beobachtungswahrscheinlichkeiten). Es ist aber

¹⁹ Lüthy, *Invention*, 2003, S. 118.

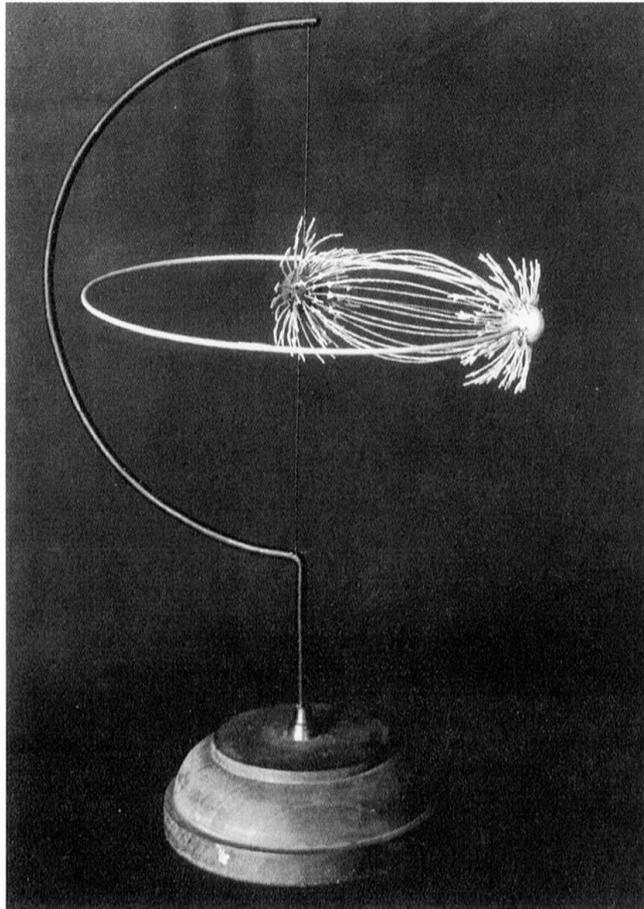


Abb. 3: Modell des Wasserstoffatoms, angefertigt für das Deutsche Museum nach einem Entwurf von Arnold Sommerfeld und künstlerischer Beratung durch den Architekten Friedrich von Thiersch.

nicht so, dass jeweils ein Typ einen anderen abgelöst hätte, was sich bereits daran erkennen lässt, dass sich in bestimmten Feldern außerhalb der Physik und in populären Darstellungen das Kügelchenatom auch im fünften Jahrhundert seiner Existenz einer unübersehbaren Lebendigkeit erfreut. Neben dem heute vielfach anzutreffenden Fall, dass mehrere dieser Modelle entweder für verschiedene Zwecke nebeneinander verwendet werden oder – allerdings seltener – miteinander konkurrieren, möchte ich im Folgenden darauf eingehen, dass es im 20. Jahrhundert erneut eine bildlose Periode des Atoms gab, in der Physiker es vermieden, Abbildungen und Modelle für Atome zu zeigen. Am Ende dieser Periode bildloser Atomphysik, die interessante Ähnlichkeiten zur Etablierungsphase des Kügelchenatoms aufweist, stand das planetare Atom nach Rutherford, Bohr und Sommerfeld, das als Holz-und-Draht-Modell 1918 für das Deutsche Museum angefertigt wurde (Abb. 3).

Wie bereits im Beispiel Giordano Brunos deutlich geworden war, fällt die Einführung von neuen wissenschaftlichen Repräsentationen nicht zwangsläufig mit theoretischen Revolutionen zusammen. Ebenso erweist sich auch die für die Bilderzeugung essentielle Entwicklung von wissenschaftlichen Apparaten und Techniken häufig als asynchron zu theoretischen wie ikonographischen Umbrüchen. Wissenschaftliche Artefakte, wissenschaftliche Theorien und auch die wissenschaftliche Ikonographie reklamieren vielmehr eine jeweils eigene Autonomie. Dieser vielleicht zunächst erstaunliche Sachverhalt ist in jüngerer Zeit indes wissenschaftstheoretisch gerade als Garant für wissenschaftlichen Fortschritt seit der wissenschaftlichen Revolution erkannt worden. Denn in diesem Gefüge stabilisieren sich Theorie, Experiment bzw. Instrument und Repräsentation gegenseitig und helfen über Brüche in einzelnen Schichten hinweg.²⁰ Damit dienen Bilder in der Wissenschaft auch einem genuin wissenschaftlichen Zweck und sind weit mehr als Illustrationen.

Um dieses Zusammenspiel von Instrumenten, Theorien und Bildern genauer zu beleuchten, werde ich im Folgenden eine Reihe von Beispielen aus der Atomphysik des ersten Viertels des 20. Jahrhunderts mit ihren spezifischen bildbezogenen bzw. bildlosen Phasen betrachten und insbesondere fragen, wie sich die Einsicht in die Materie und generell das »Sehen« in der Wissenschaft durch die moderne Physik gewandelt hat.

Die Atombilder des 20. Jahrhunderts können entsprechend den zu ihrer Erzeugung verwendeten Verfahren grob in zwei Kategorien eingeteilt werden. Entweder stammen sie aus mikroskopisch abbildenden Verfahren, die versuchen, neue Bereiche der Sichtbarkeit zu erschließen, oder sie stammen aus abtastend (re-)konstruierenden Verfahren, in denen experimentelle Daten genutzt werden, um neue Visualisierungen zu finden.²¹ Das mikroskopische Sehen bedeutet Inspizieren und Betrachten, die Bilder sind photographische, abbildende, das Phänomen wird typischerweise als Ganzes erfasst. Das konstruierende Sehen impliziert hingegen Erkunden, Untersuchen, Analysieren, Präparieren und Konstruieren. Dieser Modus der Bildproduktion ist repräsentierend, graphisch und insbesondere selektiv, wie etwa das computergenerierte und nach

²⁰ Galison, *Image*, 1997.

²¹ Diese Unterscheidung deckt sich weitgehend mit der zwischen »image« und »logic« in Galison, *Image*, 1997 und zwischen »propagation method« und »bombardment method« in Hon, *Propagation*, 2003. Zur Generierung von Bildern aus Daten vgl. allgemein Galison, *Images Scatter*, 2004. Mit dieser Unterscheidung ist indes noch nichts über die visuelle Qualität der Bilder ausgesagt, die prinzipiell von der Erzeugungsmethode unabhängig sein könnte.

Belieben einfärbbare Monitorbild eines *events* in einem Elementarteilchenbeschleunigerlabor. In einer ersten Differenzierung kann man unterscheiden, dass das mikroskopische Sehen Fragen der *Sichtbarkeit* stellt, während das konstruierende Sehen mögliche Arten der *Visualisierung* betrifft.

Die mikroskopisch abbildende Tradition: neue Bereiche der Sichtbarkeit

Die Frage nach der Existenz von Atomen und der (sub-)mikroskopischen Struktur von Materie ist durch die Einführung und Entwicklung der Mikroskopie, die andere Felder wie die Biologie revolutioniert hat, kaum einer Klärung nähergekommen. Erst im 20. Jahrhundert wurden Wege gefunden, die Grenzen der mikroskopischen Auflösung zu überschreiten, die weit von der atomaren Größenskala entfernt war. Anhand des Ultramikroskops, des Laue-Experiments und der Debye-Scherrer-Kamera möchte ich diskutieren, in welchem Maße es möglich war, die Grenzen der Sichtbarkeit durch die Erfindung neuer Wege der Einsicht in die Materie zu verschieben, und in welchem Ausmaß Wissenschaftler glaubten, sogar in das einzelne Atom sehen zu können. Alle drei Beispiele stammen aus dem ersten Viertel des 20. Jahrhunderts und damit aus einer Zeit, die vor der Einführung der Elektronenmikroskopie in den 1930er Jahren lag, die heute die Bildwelt in der atomaren Größenordnung beherrscht. Sie ist seit einiger Zeit insbesondere mit der Frage ins wissenschaftshistorische Interesse gerückt, wer die Kontrolle über die Art der generierten Bilder ausübt.²²

Das Unsichtbare sehen: das Ultramikroskop

Es ist eine aufschlussreiche Koinzidenz, dass 1872, also in demselben Jahr in dem Ernst Abbe seine theoretische Arbeit über die Bildentstehung in Mikroskopen beendet hatte, Emil du Bois-Reymond auf der Leipziger Naturforscherversammlung seine vielbeachtete *Ignorabimus*-Rede hielt. Hatte Abbe feste Grundlagen für seine Formel zum Auflösungsvermögen von Mikroskopen gefunden, die zeigten, dass Strukturen feiner als ein 5000stel Millimeter durch kein solches Gerät gesehen werden können,

22 Vgl. Rasmussen, *Picture*, 1997, wo gezeigt wird, wie komplex die Produktion selbst scheinbar schlichter Bilder war.

betrachtete du Bois-Reymond die Grenzen der Wissenschaft im Allgemeinen und behauptete, dass es Bereiche des Wissens gäbe, die außerhalb des Zugriffs der experimentellen Wissenschaft lägen:

»Gegenüber den Räthseln der Körperwelt ist der Naturforscher längst gewöhnt, mit männlicher Entsagung sein ›Ignorabimus‹ auszusprechen. [...] Gegenüber dem Räthsel aber, was Materie und Kraft seien, und wie sie zu denken vermögen, muss er ein für allemal zu dem viel schwerer abzugebenden Wahrspruch sich entschliessen: ›Ignorabimus‹.«

Man würde es also niemals wissen.²³

Es gibt darüber hinaus ein zweites, ebenso interessantes Zusammenreffen: Als der Mathematiker David Hilbert im Jahre 1900 auf einem internationalen Kongress in Paris die »Ignorabimus-Mentalität« vehement zurückwies und dies zu einem wiederkehrenden Thema seiner öffentlichen Vorträge machte, war Abbes Firma gerade damit beschäftigt, einen neuen Mikroskoptyp zu entwickeln, der die Auflösungsgrenze überwinden sollte.²⁴ Das Ultramikroskop (Abb. 4) des Kolloidchemikers Richard Zsigmondy und des Instrumentenkonstruktors bei der Firma Zeiss, Henry Siedentopf, demonstrierte eine erfolgreiche Verbindung von Interessen: Auf der einen Seite benötigte Zsigmondy Instrumente für spezielle Forschungen an Kolloiden, insbesondere um die Größe von kolloidalen Teilchen zu bestimmen und die Anwendbarkeit der kinetischen Theorie für sie zu klären. Auf der anderen Seite repräsentierte der junge Physiker Siedentopf, einer von einer ganzen Gruppe um 1900 eingestellter Physikabsolventen, eine neue wissenschaftliche Kultur bei den Zeiss-Werken. Man orientierte sich eng an wissenschaftlichen Forschungsfragen, welche von Kolloiden im Speziellen, die aussichtsreiche Anwendungen in der Optik versprachen, bis zur möglichen Existenz von Atomen im Allgemeinen reichte.²⁵

Der Göttinger Kolloidchemiker hatte erkannt, dass es möglich sein müsste, mit einem Mikroskop vor einem dunklen Hintergrund die Zerstreungskegel von Teilchen zu sehen, die kleiner waren als Abbes Auflösungsgrenze, wenn man diese senkrecht zur Beleuchtungsrichtung beobachtete. Mag diese Einsicht eine spontane Eingebung gewesen sein,

23 Zu Abbes Forschungen und Veröffentlichungen vgl. Cahan, *Zeiss*, 1996, S. 72f.; du Bois-Reymond, *Grenzen*, 1872, S. 51.

24 Hilbert, *Probleme*, 1901, vgl. auch dessen Radioansprache von 1930, besprochen in Vinnikov, *We Shall Know*, 1999; Cahan, *Zeiss*, 1996, S. 86f.

25 Cahan, *Zeiss*, 1996, S. 90-101.

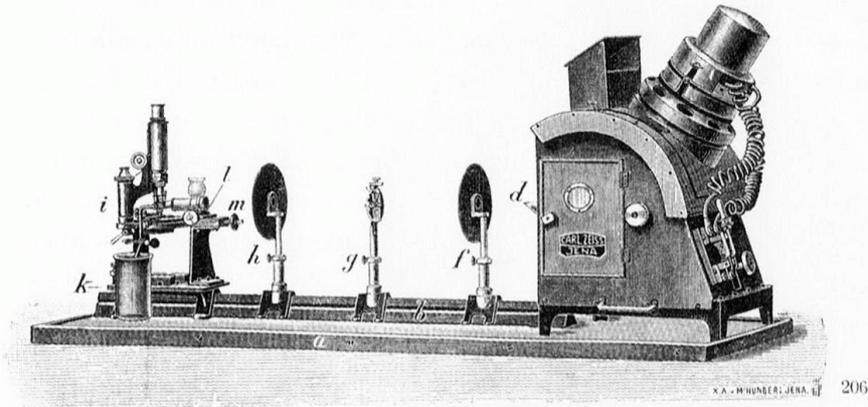


Abb. 4: Ultramikroskop von 1903, bestehend aus einem modifizierten Mikroskop (links) und einer Lichtquelle (rechts).

die den bereits bekannten Tyndall-Effekt ausnutzte, so dauerte es jedoch anderthalb Jahre und benötigte die volle Unterstützung durch das optische Know-how von Zeiss, um unter der Regie von Siedentopf die »Sichtbarmachung« von zuvor unsichtbaren Kolloidteilchen zu verwirklichen.²⁶ Im Prinzip war der Aufbau eines Ultramikroskops recht einfach, man musste nur ein normales Lichtmikroskop mit einer passenden Lichtquelle und einer Küvette von geeigneten Maßen kombinieren. Die Streuung des Lichts in den dunklen Hintergrund und die Fokussierung bereiteten jedoch ernsthafte Schwierigkeiten, die nur durch spezielle mechanische Kenntnisse und Fertigkeiten überwunden werden konnten. So entwickelten sich allmählich Lösungen wie die Dunkelfeld-Kondensoren oder das Immersions-Ultramikroskop.²⁷

In ihrer gemeinsamen Veröffentlichung teilten Zsigmondy und Siedentopf mit, dass es ihnen gelungen war, »Goldteilchen, deren Größen nicht weit von der molekularen Dimension entfernt sind, einzeln sichtbar zu machen.«²⁸ Obwohl sie genau genommen nur Querschnitte von Beugungskegeln beobachteten, konnten sie dennoch demonstrieren, dass sie die einzelnen Teilchen selbst sichtbar zu machen vermochten. Denn sie waren in der Lage, die Teilchen voneinander zu unterscheiden, ihre

26 Zsigmondy/Siedentopf, *Sichtbarmachung*, 1903. Zu Einzelheiten vgl. Cahan, *Zeiss*, 1996, S. 90-101, und für eine kurze Darstellung der technischen Entwicklung in den folgenden Jahren vgl. Ede, *Microscope*, 1998.

27 Ede, *Microscope*, 1998, S. 400.

28 Zsigmondy/Siedentopf, *Sichtbarmachung* 1903, S. 2.

Bewegungen zu verfolgen und ihre Größe zu bestimmen. Letzteres war umso bemerkenswerter, als aus der Größe der photographierten Beugungskegel keine Schlussfolgerung auf die tatsächliche Teilchengröße abzuleiten war, denn die Sichtbarmachung war nur »unter Verzichtleistung auf ähnliche Abbildung« möglich.²⁹ Die Größe konnte nur indirekt aus Beziehungen zwischen der ermittelten Teilchendichte pro Flächeneinheit, der spezifischen Dichte und der Konzentration der verwendeten Kolloide abgeleitet werden.³⁰

Die beiden Autoren waren in erster Linie daran interessiert, die Anwendungen ihrer Methode mitzuteilen, und beschrieben ausführlich, wie die Farbe von Goldrubingläsern von der Größe der nun sichtbar gemachten Goldteilchen abhing. Aus diesem Grund mag es verständlich sein, warum sie nur beiläufig anmerkten, dass ihr Ultramikroskop für das Studium der Brown'schen Bewegung »besonders geeignet« sein könne, sie darüber hinaus aber jegliche Aussage über die Möglichkeit unterließen, einzelne Atome sichtbar zu machen und so deren Realität zu beweisen.³¹

Allgemein gilt der zweite von Albert Einsteins drei berühmten Artikeln aus dem Jahre 1905 als diejenige Veröffentlichung, die die Frage nach der Realität der Atome mit Nachdruck neu stellte. Jean Perrin gilt dagegen als derjenige, der Wissenschaft wie Öffentlichkeit von dieser überzeugte.³² Wie Charlotte Bigg betont hat, ermöglichte Perrin gerade das Ultramikroskop, eine visuelle Evidenz für Atome zu präsentieren, und zwar einerseits als symbolisches Artefakt, das die Sichtbarkeitsgrenze überwinden konnte, und andererseits als praktisches Mittel zur Vorführung der Bewegung ultramikroskopischer Teilchen in Übereinstimmung mit den Lehren der kinetischen Theorie. Interessanterweise wurde so Evidenz für Atome produziert, ohne wirklich Bilder von ihnen zu zeigen.³³ Denn weder waren ultramikroskopische Teilchen einzelne Atome, noch bildeten die Projektionen und Photographien, die Perrin präsentierte, Teilchen *als* Teilchen ab.

Dennoch verschob das Ultramikroskop nicht nur die Grenze der Sichtbarkeit – allerdings nicht weit genug, um einzelne Atome zu zeigen –,

29 Zsigmondy/Siedentopf, *Sichtbarmachung* 1903, S. 3.

30 Cahan, *Zeiss*, 1996, S. 94-97.

31 Zsigmondy/Siedentopf, *Sichtbarmachung*, 1903, S. 10.

32 Einstein, *Theorie*, 1905; Perrin, *Agitation*, 1908, beschreibt die Projektion der Brown'schen Bewegung für eine öffentliche Demonstration; Perrin, *Mouvement*, 1909, beschäftigt sich ausführlich mit der Frage nach der Realität von Atomen, vgl. auch Nye, *Molecular Reality*, 1972.

33 Bigg, *Brownian Motion*, 2004.

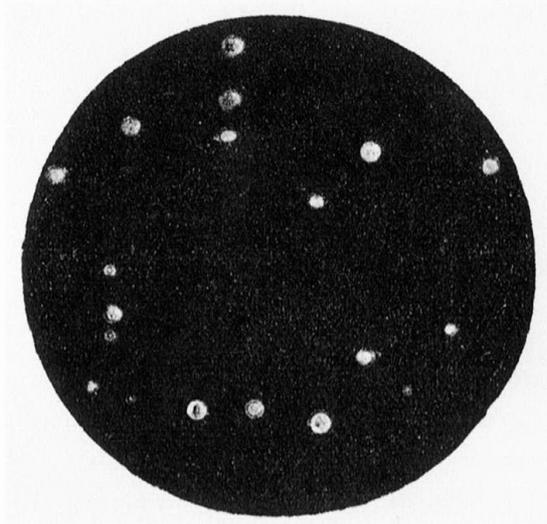


Abb. 5: »Photographie ultramikroskopischer Goldteilchen«.

die gut zu beobachtenden Zerstreungsflecken einzelner Teilchen erweiterten auch den Akzeptanzspielraum so weit, dass das Publikum mehr oder weniger glaubte, wirklich Atome gesehen zu haben. Um genauer nachzuvollziehen, wie diese implizite visuelle Überzeugungsleistung auftreten konnte und welche Rolle dabei ikonographische Traditionen spielten, bietet sich eine Analyse der publizierten Abbildungen an, die aus neuen indirekten Abbildungsmethoden gewonnen wurden, etwa durch Ultramikroskopie, Röntgenstrahlbeugung oder Nebel- und Blaskammernmethoden.

Der *Kosmos*, die vor dem Ersten Weltkrieg wohl auflagenstärkste populärwissenschaftliche Zeitschrift in Deutschland, präsentierte ihren Lesern 1917 eine Abbildung mit der Bildunterschrift »Photographie ultramikroskopischer Goldteilchen einer Goldlösung« von lediglich »15 Millionstel Millimeter« (Abb. 5), wodurch bewusst der Eindruck einer getreuen Photographie erweckt wurde, was das Abbildungsverfahren aber gerade ausschloss. Denn in den Worten des *Kosmos*-Autors Fritz Kahn sieht man

»[...] im Ultramikroskop nicht die unsichtbar kleinen Teilchen der Materie selbst, denn diese sind und bleiben in des Wortes wahren Sinne selbst unsichtbar [...] man sieht nur ihre Kielspur im Ätherozean, ihren riesig vergrößerten Schatten, ihr Brockengespenst auf der grauen Wolkenwand des Dunkelfeldes oder vielmehr umgekehrt ihr Heliogramm im Dämmerlicht des Ultramikroskops, ihren Leuchtturmschein in der schwarzen Nacht des Äthermeeres [...]«.³⁴

34 Kahn, *Ultramikroskop*, 1917, S. 92.

Auch Spuren einzelner Strahlungsquanten in einer Nebelkammer, die C. T. R. Wilson 1911 zum ersten Mal photographisch festhalten konnte, ließen den Beobachter nicht mehr als eine Kielspur sehen (ähnlich etwa der Explosionswolke, die eine Stange Dynamit hervorrufen kann). Jedoch ist hier eine weitere Grenze des Sehens überschritten: Während man durch das Ultramikroskop noch ausschließlich beobachtete, ohne das Geschehen innerhalb des Beobachteten zu beeinflussen, zeugen die Nebelkammerspuren von unzähligen Interaktionen des »beobachteten« Elektrons mit dem übersättigten Dampf. Quantenmechanisch analysiert, handelt es sich bei den photographierbaren Bahnen kondensierter Nebeltropfen um Reihen von schnell aufeinanderfolgenden Messprozessen, die das ansonsten räumlich und in seiner Bewegungsgeschwindigkeit nicht beliebig exakt bestimmbare Teilchen zwingt, einen Messwert anzunehmen, das heißt, sich an einem Ort »zu zeigen«.

Reziprokes Sehen: das Laue-Experiment

Allerdings ist nicht das ultramikroskopische Bild der Goldteilchen zur Ikone des Atomismus des frühen 20. Jahrhunderts geworden, sondern allenfalls konnten die Photographien nach dem Laue-Verfahren diesen Status für sich beanspruchen.³⁵ Ein solches Bild der Beugung von Röntgenstrahlen an einem Kristall erschien im *Kosmos* bereits im Jahre 1913 (Abb. 6) und wurde als »Atomphotogramm« bezeichnet, was zumindest die Nähe zur Photographie eines einzelnen Atoms suggerierte.³⁶

Um die Sichtbarkeitsgrenze zu verschieben, wurde unsichtbare Strahlung mit kürzerer Wellenlänge als beim sichtbaren Licht verwendet, weshalb das Auge des Beobachters durch den photographischen Film ersetzt werden musste. Das von Max von Laue, Walther Friedrich und Paul Knipping 1912 durchgeführte Experiment gilt allgemein als überzeugender Nachweis für den atomaren Aufbau von Kristallen, obwohl ein direkter Zusammenhang zwischen den Punktmustern der Laue-Photographien und der Anordnung der Atome im Kristall alles andere als unmittelbar ersichtlich war. Laue und seine Mitstreiter brauchten selbst

35 Vgl. Kemp, *Seeing*, 1997, S. 373, Abb. S. 384.

36 Meyers Großes Konversationslexikon von 1905 definierte Photogramm als »ein mit Hilfe der Photographie hergestelltes Bild«, während Photogrammetrie »diejenige Messungsmethode« bezeichnet, »bei der man die für Winkelbestimmungen nötigen Maße aus besonders zu diesem Zweck aufgenommenen Photographien entnimmt.«

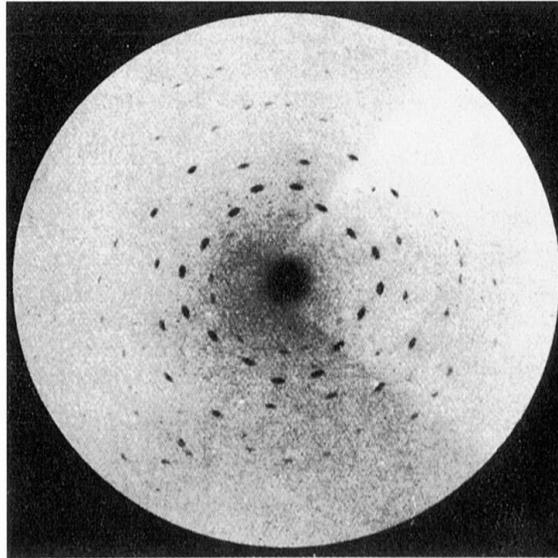


Abb. 6: »Atomphotogramm«.

einige Zeit und Unterstützung von anderen Kollegen, bis sie schließlich zu einer stimmigen Deutung ihrer Photographien gelangten.³⁷

Die Vorstellung, dass sich Kristalle mit Hilfe einer »Molekulartheorie« als ein Gitter aus Atomen beschreiben lassen könnten, wies zur Zeit Laues schon eine mehr als hundertjährige Geschichte auf, die von wechselnden Konjunkturen von Hoffnung und Enttäuschung geprägt war.³⁸ Eine Anerkennung der Existenz von Atomen implizierten diese phänomenologischen Theorien indes noch lange nicht. Die Punktmuster der Laue-Diagramme, wie die »Atomphotogramme« schließlich in der Physik genannt wurden, waren das Resultat von Interferenzen, die bei der Beugung von Röntgenstrahlung an Kristallen auftraten. Als Beweis für den atomaren Aufbau von Kristallen galten diese Punktmuster nicht zuletzt, weil sie leicht mit den bekannten Abbildungen aus dem Bereich der Molekulartheorie in Beziehung gesetzt werden konnten.

Zwar entsprachen den einzelnen Punkten der regelmäßigen Punktmuster, die auf den Photos zu sehen waren und die von der regelmäßigen Atomanordnung im Kristall herrühren mussten, keine einzelnen zuordenbaren Atome, aber sie gehörten, mathematisch gesprochen, zu dem *reziproken* Gitter des Kristallgitters. Hatte etwa ein Kristall die doppelten Atomabstände im Vergleich zu einem anderen, dann waren sie im reziproken Bild der Laue-Photographien halbiert. Ein sogenannter flächen-

³⁷ Ewald, *Laue*, 1960, S. 137.

³⁸ Vgl. Voigt, *Lehrbuch*, 1910, S. 2-6.

zentrierter kubischer Kristall erschien als körperzentrierter kubischer Kristall (Abb. 7 a/b). Für Kristallographen des 20. Jahrhunderts wurden die Laue-Diagramme zum primären Abbildungsstandard und die Übersetzung von Abständen und Geometrie zwischen dem realen Atomgitter und dem durch das Laue-Verfahren sichtbar gemachten reziproken Gitter selbstverständliche Routine.

Die Versuche, die Sichtbarkeitsgrenze in den atomaren Bereich zu verschieben, wurden also durch Verluste oder »Verzichteistung« erkaufte, die die Wissenschaftler kompensierten, indem sie neue Weisen des Sehens erlernten. Sprach der Artikel von 1917 im *Kosmos* von »ultramikroskopischem Sehen«, so führte das Laue-Experiment ein »reziprokes Sehen« ein. Dass Kristallographen Objekte wirklich im reziproken Raum sehen, hat zumindest Ian Hacking nach Zusammenarbeit mit einem Vertreter dieses Faches behauptet:

»Die Kristallographen finden es oft am natürlichsten, ihre Objekte im reziproken Raum zu untersuchen. Sehen sie die Objekte im reziproken Raum? Sie behaupten es jedenfalls, und damit stellen sie die Kantische These von der Einzigkeit des Wahrnehmungsraums in Frage.«³⁹

Beide neuen Formen des Sehens – das ultramikroskopische wie das reziproke – konnten viele Aspekte des natürlichen Sehens retten und auf diese Weise traditionelle Wahrnehmungskonzepte erweitern, aber auf die quantitativ adäquate Repräsentation der Teilchengrößen oder die korrekte Wiedergabe räumlicher Symmetriestrukturen musste verzichtet werden. Die Grenzen der Sichtbarkeit sind verschiebbar, aber nur um den Preis von Informationsverzicht und Akzeptanz von Verzerrungen. Positiv gewendet kann die Fähigkeit von Wissenschaftlern, neue Formen des Sehens zu erlernen, als Mittel zu weiterem Erkenntnisgewinn begriffen werden. Damit tragen Bilder und ihre Traditionen nicht nur zur Stabilisierung neuer Wissensgefüge bei, sondern ermöglichen – als zweiter Nutzen für die Wissenschaft – auch innerhalb einer stabilen Wissenschaftsentwicklung einen heuristischen Gewinn.

39 Hacking, *Do We See*, 1981, S. 344. Allerdings belegte Jonathan Crary die These, dass bereits wenige Jahre nach Kants Tod der Wahrnehmungsraum des 17. und 18. Jahrhunderts durch neue subjektive und flexible Formen der Wahrnehmung abgelöst wurde. Vgl. Crary, *Techniken*, 1996.

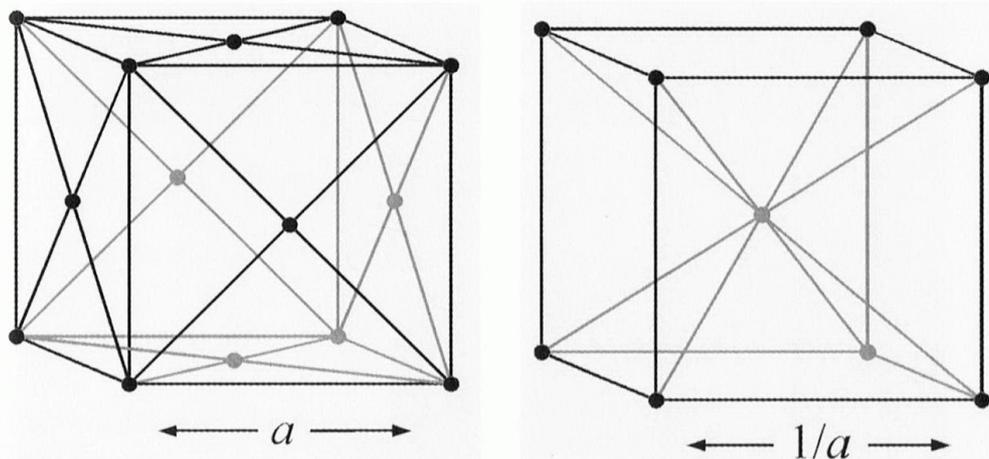


Abb. 7 a/b: Die geometrischen Strukturen von flächenzentrierten (links) und körperzentrierten (rechts) kubischen Kristallen werden durch die reziproke Abbildung im Laue-Experiment vertauscht.

Sehen wollen: die Ursprünge der Debye-Scherrer-Kamera

Hatte das Ultramikroskop im Vergleich zu Einzelatomen lediglich relativ grobe Materiebrocken dargestellt und das Laue-Verfahren nur Details über die Anordnung der Atome im Kristall zu »sehen« ermöglicht, zielte das dritte Beispiel für ein neues submikroskopisches Sehen darauf, das Innere des Atoms selbst mit einer Kamera abzubilden. Letztlich konnte die Debye-Scherrer-Kamera keine brauchbaren Bilder in dieser Hinsicht liefern, ihre Bedeutung sollte vielmehr in der Erforschung von Kristallstrukturen liegen, die durch das Laue-Verfahren nicht zugänglich waren. Die ursprünglichen Absichten und die theoretischen Überlegungen bei der Konstruktion der Kamera zeigen jedoch, welche Hoffnungen Physiker in die Möglichkeit setzten, auch in das Atominnere Einblick zu erlangen.

Im Februar 1915 legte David Hilbert der Göttinger Akademie der Wissenschaften einen Aufsatz von Peter Debye vor, in dem dieser sich nichts Geringeres als eine »Ultramikroskopie des Atominneren« zum Ziel gesetzt hatte. Eine theoretische Überlegung zur Streuung von Röntgenstrahlen an zufällig orientierten Atomen nach Bohrs Modell hatte ihn überzeugt, dass es möglich sein müsste, »die besondere Anordnung der Elektronen im Atom experimentell festzustellen«,⁴⁰ und er beendete seine theoretischen Darlegungen mit der Folgerung:

⁴⁰ Debye, *Zerstreuung*, 1915, S. 811 (zitiert nach Version in den *Annalen der Physik*).

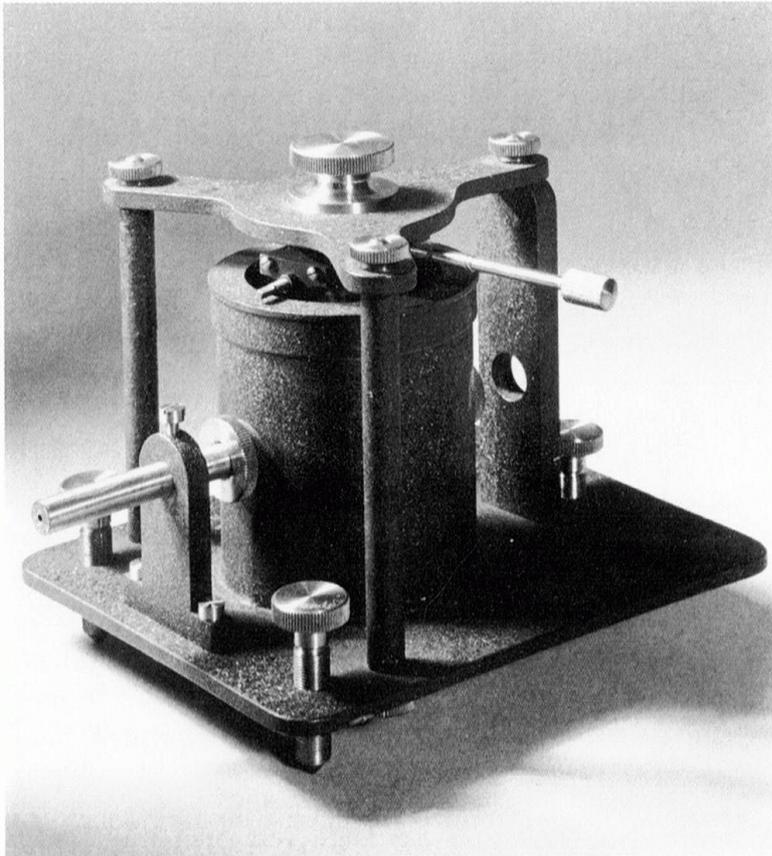


Abb. 8: Debye-Scherrer-Kamera, früher ausgestellt im Deutschen Museum als »Kamera zur Aufnahme von Pulverdiagrammen mit Röntgenstrahlen. Original von P. Debye und P. Scherrer, 1917«.

»Ob man nun experimentell wirklich Ringe photographiert oder nur eine mehr stetige zu längeren auffallenden Wellen gehörige Abweichung vom Zerstreungsgesetz des strahlenden Dipols [...] feststellt, das ist für die Verwendung der Messungen schließlich mehr nebensächlich. Die Hauptsache scheint mir darin zu liegen, daß wir, wenn unser Standpunkt übernommen wird, wirklich mittels Beobachtungen über die zerstreute Strahlung imstande sein dürften, die Elektronenanordnungen im Inneren der Atome nach Zentimetern auszumessen.«⁴¹

Mit dieser Ankündigung, die in Sprache und Konzept stark an den Fall der Ultramikroskopie erinnert, begann eine Entwicklung, die zwar die selbstgesetzten Ziele verfehlte, die aber dieses Versagen in eine innovative

⁴¹ Ebd., S. 823.



Abb. 13. Debyeaufnahme von Karborund (SiC), amorphe Modifikation; 1 mm Lochblende; Cu-K-Strahlung ohne Filter; Filmradius 4 cm; verkleinert auf $\frac{1}{2}$.

Abb. 9: Photo, aufgenommen mit einer Debye-Scherrer-Kamera.

und erfolgreiche Methode zur Röntgenstrahlanalyse verwandelte. Die Kamera war, wiederum ähnlich wie das Ultramikroskop, konzeptionell recht einfach und nur im technischen Detail vertrackt.⁴² Sie besteht aus einem Zylinder und einem für Röntgenstrahlen empfindlichen Film, der die Zylinderwand fast völlig bedeckt und nur eine Öffnung ausspart, durch die monochromatische Röntgenstrahlen auf eine im Zentrum des Zylinders befestigte Probesubstanz fallen können (Abb. 8, Abb. 9).

Ein Jahr nach Debyes erster Veröffentlichung teilte dieser in einem zusammen mit seinem Assistenten Paul Scherrer verfassten Artikel mit:

»[Die] Versuche [...] zeigten den erwarteten Erfolg. Nebenbei aber fanden sich in einigen Fällen über den erwarteten Effekt überlagert anders geartete Interferenzen, die durch die Schärfe der auftretenden Maxima klar erkennen ließen, daß für sie nicht die regelmäßige Anordnung der doch voraussichtlich recht kleinen Zahl von Elektronen im Atom verantwortlich gemacht werden konnte.«

Allerdings wollten die Autoren in diesem Artikel zunächst die unerwarteten »überlagerten« Interferenzen untersuchen, »auf die eigentlichen Elektroneninterferenzen« beabsichtigten sie »in einer späteren Mitteilung näher einzugehen«.⁴³ In den folgenden Artikeln von Debye und Scherrer verschwand nun die ursprüngliche Fragestellung nach der Sichtbarma-

⁴² Zu den technischen Problemen vgl. Scherrer, *Reminiscences*, 1962.

⁴³ Debye/Scherrer, *Interferenzen I*, 1916, S. 2 In Scherrers Erinnerung stellte sich der Sachverhalt indes anders dar: »Debye and I were most surprised to find on the very first photographs the sharp lines of a powder diagram, and it took us not long to interpret them correctly as crystalline diffraction on the randomly oriented microcrystals of the powder. The diffraction lines were much too sharp than that they could have been due to the few scattering electrons in each single atom.« Scherrer, *Reminiscences*, 1962, S. 643.

chung der Elektronenringe im Atom mehr und mehr. Stattdessen präsentierten sie eine neue »Methode zur Bestimmung der Atomanordnung in Kristallen«, bei der es »genügt, wenn die kristalline Substanz in Form eines sehr feinen Pulvers oder als mikrokristallines Aggregat vorliegt«.44 Im *Handbuch der Experimentalphysik* aus dem Jahr 1928 war das ursprüngliche Ziel der Experimente dann völlig getilgt, und der Ausdruck »Ultramikroskopie des Atominernen« stillschweigend durch »Ultramikroskopie des Molekülinneren« ersetzt worden.⁴⁵

Debye hatte ursprünglich eine ziemlich genaue Vorstellung, was er mit der Debye-Scherrer-Kamera sehen wollte. Zwar glaubte er nicht, eine Photographie der damals vermuteten Elektronenringe in einer gegenständlich getreuen Weise anfertigen zu können, aber wie beim reziproken Sehen, das sich aus den Laue-Diagrammen entwickelte, wollte er charakteristische Schwärzungsmuster auf seinem Röntgenfilm fotografieren. Deren Anordnung hätte es dem Physiker, ähnlich wie bei den Laue'schen Punkten, erlauben sollen, Einblick in das Atom zu nehmen und es in Millimetern beziehungsweise deren kleinsten Bruchteilen auszumessen.

Fazit I: Vom Wollen zum Können?

Die Frage »Sehen wir durch ein Mikroskop?«, die Ian Hacking zuerst 1981 stellte, bejahte er prinzipiell. Wenn man die Unterschiede anerkennt, die bereits zwischen makroskopischem Sehen im Alltag und dem Sehen durch ein normales Lichtmikroskop existieren und die vor allem durch die Beugungserscheinungen bedingt sind, dann geben die übereinstimmenden Schlussfolgerungen, die verschiedene Methoden über normalerweise nicht sichtbare Strukturen erlauben, dem epistemologischen Realisten guten Grund, in die Erweiterbarkeit der Sichtbarkeit in den Atombereich zu glauben.⁴⁶ Es mag Unklarheiten des Bildes geben, etwa ob mit der Gewohnheit der Kristallographen, ihre Physik im reziproken Raum zu diskutieren, auch eine mit »Sehen« angemessen beschriebene

44 Scherrer, *Raumgitter*, 1918, S. 23.

45 Ott, *Strukturbestimmung*, 1928, S. 175, bezieht sich allein auf Debye/Scherrer, *Interferenzen III*, 1917, Zitat, S. 291.

46 Hacking, *Do We See*, 1981. Die Auffassung, dass mikroskopisches Sehen sich fundamental von makroskopischem Sehen unterscheidet, wurde bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts intensiv diskutiert, vgl. Schickore, *Impediments*, 2001.

Beobachtung ihrer Objekte einhergeht.⁴⁷ Doch erfüllt dieser Modus der Repräsentation alle Kriterien, die wir anfangs an ein mikroskopisch abbildendes Sehen gestellt haben, es ist photographisch, abbildend und erschließt das Objekt als Ganzes.

Die abtastende (re)konstruierende Tradition: neue Versuche der Visualisierung

Folgt man der Interpretation Giora Hon, dann fiel der Wandel, den die Experimentalphysik am Anfang des 20. Jahrhunderts erlebte, maßgeblich mit dem »Übergang vom Studium von Ausbreitungsphänomenen zu Fragen der Struktur« zusammen. Er war »direkt mit der Entwicklung einer neuen experimentellen Technik verbunden [...], die entstand, als die Physik die Aufmerksamkeit von makro- auf mikrophysikalische Probleme hinwendete«. Bei dieser neuen Technik handelte es sich um die Beschussmethode (*bombardment method*). Sie stellte eine entscheidende Ergänzung der Ausbreitungsmethode (*propagation method*) dar, bei der Licht oder andere Wellenphänomene sich durch ein Medium ausbreiten, an diesem gebeugt oder gestreut werden und die sich ergebenden Muster im Auge des Beobachters oder auf einem photographischen Film ein Abbild hinterlassen. Beide Untersuchungsmethoden zusammen avancierten im 20. Jahrhundert zu einem Paar, das sich teils gegenseitig ergänzte, teils komplementäre Aspekte des Mikrokosmos offenbarte. Die Beschussmethode entstand nach Hon gerade zu der Zeit, als deutlich wurde, »that rays and particles of known properties could be manipulated and used as probes that could impinge on, collide with, or plunge through the object under study.«⁴⁸ Wie stark diese Methode das Verständnis des Atoms veränderte, zeigt das nächste Beispiel.

47 Hacking, *Do We See*, 1981. Beim Wiederabdruck dieses Artikels in Churchland/ Hooker, *Images*, 1985, S. 132-152, findet sich zusätzlich eine kritische wissenschaftstheoretische Diskussion durch Bas van Fraassen, der Hackings Argument letztlich auf die Anerkennung eines Analogieschlusses zurückführt, Fraassen, Bas C., *Empiricism*, 1985, S. 297-301. Die Aufforderung an den Experimentator, seine Ergebnisse durch Beeinflussung des Objektes zu verifizieren (»... you learn to see through a microscope by doing, not by looking«, S. 136), ist ein zentraler Punkt in Hackings Wissenschaftsphilosophie, vgl. Hacking, *Representing*, 1983.

48 Hon, *Propagation*, 2003, S. 152.

Das leere Atom

Die bekannteste Form der Beschussmethode in der Physik sind die spektakulären Beschleuniger der Elementarteilchenphysik, die im 20. Jahrhundert zum Symbol der erfolgreichen Erforschung von Materie wurden. Im Prinzip sind die Kathodenstrahlröhren aus der Zeit des ausgehenden 19. Jahrhunderts nichts anderes: Apparaturen zur Beschleunigung von Teilchen, um diese auf eine Zielsubstanz zu schießen. Allerdings waren die frühen Elektronenkanonen zunächst wirkungslos, da es nicht gelang, die beschleunigten Elektronen aus der Glasröhre, in der sie erzeugt wurden, austreten zu lassen. Philipp Lenard gelang es 1894 als Erstem, den Teilchen ein »Fenster« zu bauen, durch das sie auf beliebige Proben gerichtet werden konnten. Noch war umstritten, ob die Kathodenstrahlen, Schwingungen wie Licht oder Schall waren oder ob sie einen Strom von Korpuskeln bedeuteten. Lenard fand jedoch in langwierigen Versuchen zwischen 1895 und 1903 heraus, dass die Kathodenstrahlen von beliebigen Stoffen nach ein und demselben Gesetz absorbiert wurden: Es kam lediglich auf die Dichte der absorbierenden Materie an, nicht aber auf ihre sonstigen physikalischen oder chemischen Qualitäten. Als sich um die Jahrhundertwende dann die Korpuskeldeutung auch in Deutschland langsam durchsetzte, führten Lenards Ergebnisse zu einem ebenso unmissverständlichen wie neuen Bild vom Atom: Die Elektronen der Kathodenstrahlen konnten Tausende von Atomen durchdringen, ohne absorbiert zu werden, lediglich bei langsamen Elektronen trat eine stärkere Absorption ein, die auf elektrische Kräfte im Atom hinwies. Der Schluss aus diesen experimentellen Ergebnissen war klar: Die Atome waren fast vollständig leere Gebilde, deren Stabilität irgendwie durch elektrische Kräfte gewährleistet wurde. Lenard vermutete, dass Atome aus Ursubstanz bestünden, die er Dynamiden nannte. In seiner wichtigen Veröffentlichung von 1903 konnte man lesen:

»Beispielsweise ist demnach der Raum, in welchem ein Kubikmeter festes Platin sich befindet, leer, [...] bis auf höchstensfalls ein Kubikmillimeter als gesamtes wahres Dynamidenvolumen.«⁴⁹

Lenards »leeres Atom« besaß bereits die meisten Eigenschaften, die später das Rutherford'sche Atommodell verkörperte. Verborgen blieb Lenard mit seiner Beschussmethode allein, dass die positive Ladung des Atoms in einem Kern konzentriert war. Zur Erklärung der nach außen elek-

49 Lenard, *Absorption*, 1903, S. 739.

trisch neutral erscheinenden Atome wählte er stattdessen die Möglichkeit, dass das Atom aus Paaren positiver und negativer Ladungen, den sogenannten Dynamiden, bestehen würde.⁵⁰

Lenard war vermutlich der Erste, der für diese neue Methode zum Einblick in die Materie warb, als er in seiner Nobelansprache 1906 sagte:

»Wir können die Quanten der Kathodenstrahlen als kleine Prüfkörperchen benutzen, die wir das Innere der Atome durchfahren lassen, daß sie uns dann Kunde von diesem Innern bringen.«⁵¹

Aber trotz der präzisen Angaben dazu, wie verschwindend gering der Teil des ansonsten leeren Atoms ist, der aus undurchdringlicher Materie besteht, und zum Absorptionsverhalten sollten Lenards Ergebnisse zu keinem klaren Bild führen. Wie bei den antiken Atomisten war das – nun experimentelle statt philosophische – Wissen vom Atom unbildlich:

»Staunend sehen wir, daß wir über die alte Undurchdringlichkeit der Materie hinausgekommen sind. Wohl beansprucht jedes Atom der Materie seinesgleichen gegenüber einen undurchdringlichen Raum für sich; jedoch den feinen Quanten der Elektrizität gegenüber erweisen sich alle Atomsorten als sehr durchlässige Gebilde, wie aufgebaut aus feineren Bestandteilen mit vielen Zwischenräumen.«⁵²

Das bedeutet nicht, dass keinerlei Modelle für das Atom diskutiert wurden. So wurde die planetare Analogie bereits zu der Zeit, als Lenard seine Ergebnisse veröffentlichte, von einigen Autoren in populäreren Wissenschaftszeitschriften erwähnt und indirekt auch von Lenard selbst. Die Physiker begriffen aber viel zu gut, dass das alte mechanische Gleichgewicht, das die Planeten auf ihren Umlaufbahnen hielt, nicht auf elektrische Kräfte übertragbar war. Kreisende Ladungen würden in Bruchteilen von Sekunden abgebremst und ihre Energie abstrahlen. Gründe wie diese führten dazu, dass die Wissenschaft auf Abbildungen des neuen Atomkonzepts verzichtete.⁵³ Das planetare Atommodell etablierte sich

50 Vgl. ausführlich Schirmacher, *Atom*, 2003.

51 Lenard, *Kathodenstrahlen*, 1906, S. 188f.

52 Ebd., S. 188.

53 Das gilt auch für das im Schulunterricht gern verwendete Rosinenkuchenmodell (plum-pudding model) nach J. J. Thomson, das zu dessen Lebzeiten weder ernsthaft verwendet wurde noch als Abbildung erschien. Vgl. Martinez, *Plum Pud-*

vielmehr in einem langen Aushandlungsprozess zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit, an dessen Ende das Bohr'sche Atommodell nicht nur akzeptiert war, sondern auch abgebildet wurde.⁵⁴ Bevor ich auf diese Etablierung eines neuen Bildes vom Atom näher eingehe, soll ein zweites Beispiel für die Beschussmethode zeigen, wie stark die Vorbehalte gegen das Rutherford-Bohr-Atom zunächst in der Physik waren.

Von der Widerlegung zum Beweis: das Franck-Hertz-Experiment

Schaut man die führende deutsche Überblickszeitschrift *Die Naturwissenschaften* auf die Berichterstattung über das Rutherford-Bohr-Atom für die Jahre 1913 bis 1916 durch, so findet sich darin eine ganze Reihe von Beiträgen über das Atom – allerdings ohne besondere Präferenz für Rutherford und Bohr. Daher mag es nicht überraschen, dass James Franck und Gustav Hertz zu dieser Zeit ihre experimentellen Forschungsarbeiten mit Lenard'schen Röhren und Methoden begannen und das Ziel verfolgten, die Zusammenhänge zwischen der neuen Quantentheorie und Überlegungen zu Atommodellen zu prüfen. Ähnlich wie Debye und Scherrer wussten Franck und Hertz genau, was sie sehen wollten: Ionisierung von Molekülen durch den Beschuss mit Elektronen, die sogenannte Ionisierungsenergie. Im Mai 1915 vermeldeten sie die erfolgreiche Durchführung und die Bestimmung der Ionisierungsenergie von Quecksilber als 4,9 Elektronenvolt (Abb. 10).⁵⁵ Implizit nahmen sie an, dass Quecksilberatome Elektronen enthielten, aber weder gingen sie von einer bestimmten Struktur aus, noch berücksichtigten sie, dass vielleicht noch andere Energiestufen im Atom existierten außer der Ionisierung, also der vollständigen Herauslösung eines Elektrons aus dem Atom. Während Debye und Scherrer keine Elektronenringe sehen konnten, weil es diese so gar nicht gab, waren Franck und Hertz blind gegenüber den Energiestufen im Atom und interpretierten jede nachweisbare Energiestufe als Ionisierung.

Bohr, der die experimentelle Bestätigung seiner Ideen durch Franck und Hertz sofort erkannte, interpretierte in einer Veröffentlichung von 1915 die Energiedifferenzen korrekt als Anregungsenergie von der ener-

ding, 2003, der zeigt, dass die erste publizierte Erwähnung von »plum pudding« etwa 40 Jahre nach Thomsons Modell in einem Lehrbuch zu finden ist und daher als Resultat einer Veränderung der Physikdidaktik verstanden werden muss.

⁵⁴ Vgl. ausführlich Schirmmacher, *Weg*, 2007.

⁵⁵ Franck/Hertz, *Zusammenstöße*, 1914.

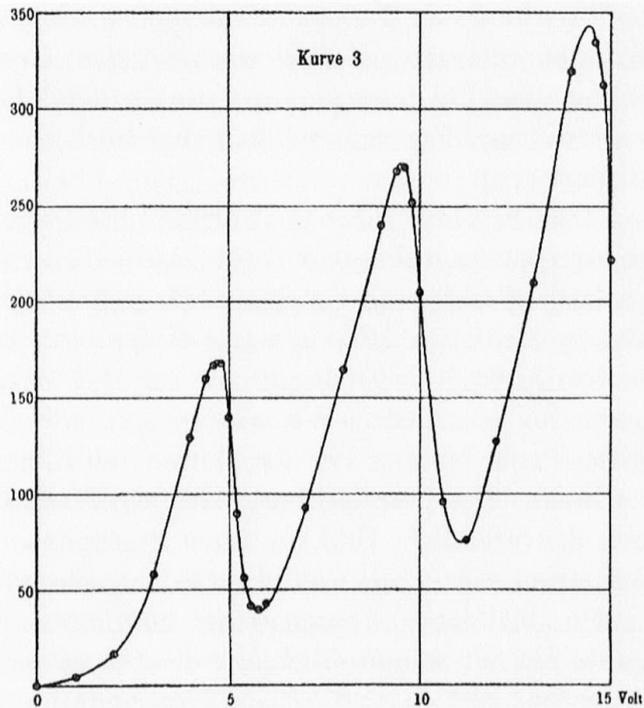


Abb. 10: Das Experiment von Franck und Hertz zeigt 1914 regelmäßige Energiestufen von jeweils 4,9 Elektronenvolt.

getisch niedrigsten Elektronenbahn auf die nächsthöhere. Franck und Hertz waren indes nicht bereit, ihre Ergebnisse zu korrigieren, sondern sahen ihre Arbeit vielmehr als Widerlegung von Bohrs Theorie an.⁵⁶ Auch abgesehen von nationalistischer Besserwisserei, die im Ersten Weltkrieg selbst die Auseinandersetzungen in der Wissenschaft erfasst hatte, benötigten Franck und Hertz einige Jahre, um schließlich zu erkennen, dass ihr Experiment keine Ionisierung produziert hatte. In der Zwischenzeit hatte das Rutherford-Bohr-Atommodell allgemein Akzeptanz gefunden, erste Zeichnungen davon erschienen nach Kriegsende in den Zeitschriften, und im Deutschen Museum waren entsprechende Modelle zu sehen (vgl. Abb. 3).⁵⁷

Statt Franck und Hertz indes Blindheit gegenüber der richtigen Interpretation ihrer experimentellen Ergebnisse vorzuhalten, zeigt ein genauerer Blick auf die Möglichkeiten ihrer experimentellen Apparatur sogleich, dass entgegen Bohrs Voraussagen nicht zahlreiche Übergänge

⁵⁶ Bohr, *Quantum Theory*, 1915; Franck/Hertz, *Kinetik*, 1916. Vgl. zusammenfassend Heilbron, *Lectures*, 1977, S. 74-78, ausführlicher Hon, *Franck and Hertz*, 1989.

⁵⁷ Vgl. Schirmacher, *Atom*, 2003, S. 146.

mit verschiedenen Energiedifferenzen zwischen den Energiestufen im Atom beobachtet werden konnten, sondern einzig der Übergang vom Grundzustand in den ersten Anregungszustand. Erst viel später offenbarten verfeinerte Experimente, dass tatsächlich mehrere Energieübergänge existierten.

Dieses Ergebnis führt uns zurück zur Charakterisierung der Visualisierungen durch abtastend (re-)konstruierende Verfahren: Sie sind ausgesprochen selektiv in Bezug auf bestimmte Eigenschaften der Materie und repräsentieren daher in keiner Weise mehr das gesamte Objekt, das untersucht wird. Es ist aber gerade diese Selektivität, die Wahlmöglichkeiten für verschiedene Visualisierungen eröffnet. Damit ist auch ein dritter Punkt berührt, der den Nutzen von Bildern in der Wissenschaft beschreibt: Erst diese Wahlmöglichkeiten erlauben es den Wissenschaftlern, das öffentliche Bild von ihren Ergebnissen zu beeinflussen.⁵⁸ Das Diagramm zeigte Franck und Hertz einzig, dass im Atom Vorgänge stattfanden, bei denen Energie einer bestimmten Größe aufgenommen wurde. Da unbestimmt blieb, wie diese Vorgänge genau abliefen, ob als Ionisation, Elektronenanregung, Umwandlung in Licht oder anderes, bestand eine entsprechend große Freiheit, diese Vorgänge zu interpretieren und ihnen eine anschauliche Illustration zu geben.

Rutherfords Streuexperimente, die 1911 so eindeutig wie unbeachtet die Existenz eines positiv geladenen Kerns des Atoms nachwiesen, wären ein weiteres Paradebeispiel für die selektiven Abbildungsleistungen der Beschussmethode: So gut sie die Existenz eines Atomkerns demonstrieren, so wenig sagten sie über die übrige Struktur der Atome aus.

Fazit II: Bilder der atomaren Welt heute

Wenn uns heute Raster-Tunnel-Mikroskope oder Raster-Fluoreszenz-Mikroskope scheinbar eine gegenständlich-konkrete Welt der atomaren Größenordnung präsentieren, darf nicht außer Acht gelassen werden, dass die ihnen zugrunde liegenden Konzepte mit der Beschussmethode sehr viel enger verwandt sind als mit der älteren Tradition, die Sichtbarkeit zu erweitern. Die Elektronenmikroskopie ist aus Kathodenstrahlröhren erwachsen, Raster-Mikroskope tasten durch viele Einzelmessungen eine Fläche ab, wobei das Bild, wie auch bei der eingangs erwähnten Form der Fluoreszenz-Mikroskopie, per Computergenerierung aus den zuvor gewonnenen Daten entsteht.

⁵⁸ Vgl. allgemein zur Macht der Wissenschaft, die in der Wahlfreiheit der Popularisierung liegt, Hilgartner, *Dominant view*, 1990.

Wissenschaftler hatten, wie gezeigt wurde, in der Regel durchaus Vorstellungen von dem, was sie sehen wollten. Während die mikroskopisch abbildende Tradition diese Wünsche aber nur begrenzt erfüllte, scheinen die abtastend (re-)konstruierenden Visualisierungstechniken den Forschern kaum mehr Widerstand entgegenzusetzen, wenn sie diese Vorstellungen nach ihrem Geschmack in Bilder umsetzen. Das zeigt sich heute ebenso in den atomaren Landschaften des Raster-Tunnel-Mikroskops wie in den Abbildungen der STED-Mikroskopie, deren visuelle Qualitäten möglicherweise stärker von den hinzugefügten fluoreszierenden Markerfarbstoffen bestimmt sind als von den Eigenschaften der Proben.⁵⁹

Der Mikrokosmos – außer Sicht, aber im Bilde

In einem mittlerweile klassischen Artikel über die Entwicklung der Quantentheorie hat Arthur I. Miller vor über 25 Jahren die These aufgestellt – und seitdem stetig wiederholt –, dass um 1913 die *Visualisierung* der physikalischen Vorgänge im Atom verloren gegangen sei, sie aber um 1927 wiedererrungen wurde.⁶⁰ So sehr diese Sichtweise zu der traditionellen Geschichtsschreibung der theoretischen Physik passt – von Bohrs Atom bis zur Kopenhagener Interpretation der Quantenmechanik –, so wenig steht sie in Einklang mit der Geschichte der experimentellen Physik oder der Wissenschaftsberichterstattung.⁶¹ Vor dem Hintergrund der eingangs diskutierten Bildlosigkeit aus der Zeit vor der wissenschaftlichen Revolution einerseits und den Ergebnissen, die der Vergleich zwischen den Bemühungen, die Sichtbarkeit zu erweitern oder neue Visualisierungen zu konstruieren, für das 20. Jahrhundert andererseits zu Tage gefördert hat, möchte ich statt der Miller'schen These folgende Interpretation vorschlagen:

Mit den neuen Entdeckungen von Strahlungen und der Instabilität der Materie in der letzten Dekade des 19. Jahrhunderts verschwand auch die Ikonographie des Kugelchenatoms zunehmend aus dem wissenschaftlichen Diskurs und wurde in der öffentlichen Wahrnehmung zumindest nachrangig. Während um 1900 die wesentlichen Aspekte der Architektur des modernen Atoms experimentell erkannt wurden, konnte sich dennoch bis zum Ende des Ersten Weltkriegs kein neues Bild vom Atom

59 Für eine Diskussion dieser Frage anhand des Raster-Tunnel-Mikroskops vgl. Hennig, *Versinnlichung*, 2006.

60 Miller, *Visualization*, 1978; Miller, *Imagery*, 1984; Miller, *Imagery*, 2003.

61 Hon, *Propagation*, 2003, Schirmacher, *Weg*, 2007.

etablieren. Somit findet sich in der Wissenschaftsgeschichte zwischen etwa 1895 und 1918 eine Periode ohne eine tragfähige Bildlichkeit und anerkannte Ikonographie. Das neue Bild des Atoms erschien in den folgenden Jahren zunächst hauptsächlich in der wissenschaftsvermittelnden Literatur, die sich an eine interessierte Öffentlichkeit wandte. Auf diese Weise konnte sich das planetare leere Atom als eine konstruierte Visualisierung gerade zu der Zeit breit etablieren, als die Quantenmechanik die Existenzmöglichkeit von bestimmbareren Elektronenbahnen widerlegte.

Man kann in diesem Sinn daher durchaus eine Parallele von der Ära der modernen Atomphysik zur bildlosen Zeit vor dem 17. Jahrhundert ziehen und damit die Etablierungen neuer Bilder und Bildsprachen für das Atom vergleichen. Insbesondere fällt auf, dass es in beiden Fällen keine Koinzidenz zwischen der Verfügbarkeit von Bildern für das Atom und den spezifischen theoretischen, experimentellen oder auf apparativen Anordnungen beruhenden Kenntnissen gab.

Um die moderne bildlose Periode in der Wissenschaft zu erklären, muss man zwangsläufig über die Geschichte der wissenschaftlichen Ideen oder der wissenschaftlichen Laborpraxis hinausgehen. Das wird an dem wohl ersten Ausstellungsmodell vom leeren Atom deutlich, das Arnold Sommerfeld im Jahre 1918 nicht nur für eine außerwissenschaftliche Öffentlichkeit konzipierte, sondern gewissermaßen gemeinsam mit ihr (Abb. 3, 11 und 12). In Diskussionen mit dem Generaldirektor des Deutschen Museums, dem Ingenieur Oskar von Miller, und dem Architekten Friedrich von Thiersch wurde die magere Empirie eines Atomkerns und eines Elektrons, das sich in nicht beobachtbarer Weise in einem gewissen Abstand vom Atomkern aufhält oder bewegt, zu einer komplexen Ikonographie des Atoms aufgewertet, die offenbar in Hinblick auf einen laienhaften Betrachter konzipiert wurde.

»Ich lege Ihnen zwei Ausführungen vor. Bei beiden handelt es sich um das Wasserstoff-Atom, bestehend aus Kern (rot bzw. gelb) und Elektron (blau). Die Farben sind natürlich ganz willkürlich. Beide sind mit Kraftlinien versehen, in Fig. 1 ist nach Art von Blitzen gezeichnet, in Fig. 2 [Abb. 11] als glatte Verbindungslinien (in roter Farbe). Beide Darstellungen lassen sich rechtfertigen. Das Elektron kreist auf einer Kreisbahn, die durch einen Pfeil als solche bezeichnet ist. Andere mögliche Bahnen sind mit Bleistift gekennzeichnet, in Fig. 1 zwei Kreise, die in gleichen Winkeln gegen die innere Bahn geneigt sind und aus der Horizontalebene heraustreten. Fig. 2 wird im Ganzen zu flach wirken; ich glaube daher, Fig. 1 bevorzugen zu sollen. Natürlich

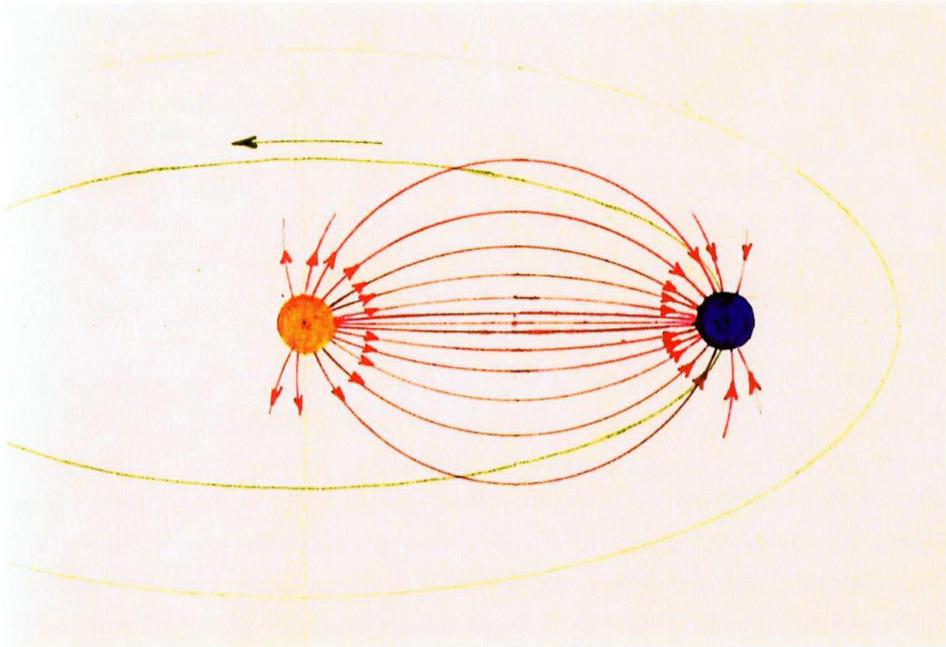


Abb. 11: Detail einer Zeichnung von 1918 zu einem Modell des Wasserstoff-Atoms (Fig. 2 im Zitat) für den Elementen-Schrank in einem von Arnold Sommerfeld konzipierten Ausstellungssaal »Bau der Materie« (Die Zeichnungen, die vermutlich bereits dem Brief an Miller beilagen, ebenso wie eine mehrseitige Ausstellungskonzeption sind mit einem Brief von Arnold Sommerfeld an Armin Süßenguth überliefert).

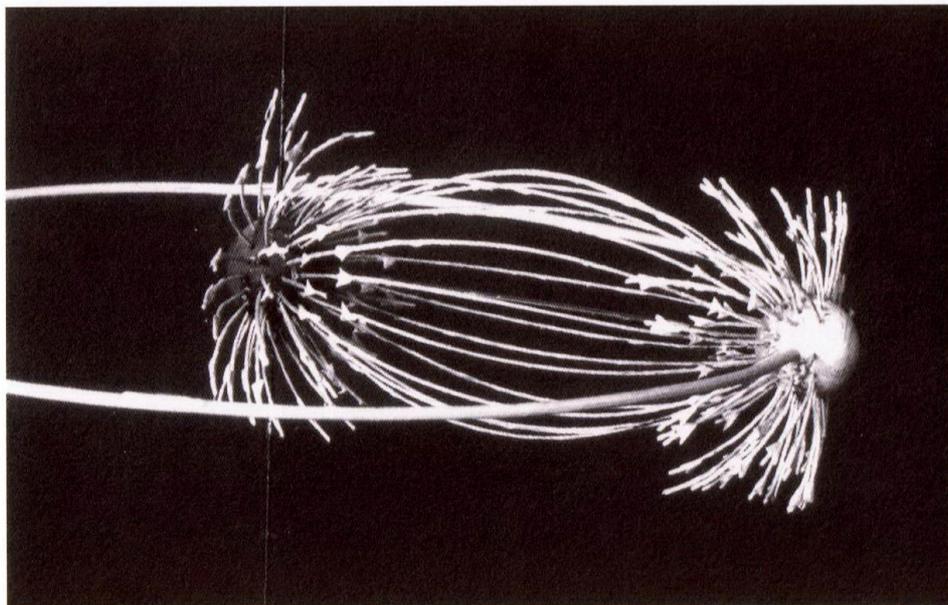


Abb. 12: Atommodell im Deutschen Museum, Detail.

kann man auch die Kraftlinienbildung aus Fig. 2 in Fig. 1 übertragen. In Wirklichkeit läuft auch der Kern auf einem (verhältnismäßig sehr kleinen) Kreise, der mit dem Bahnkreis des Elektrons concentrisch ist. Man könnte auch diesen darstellen.

Die Entscheidung muss der Künstler treffen. Zu einer gemeinsamen Besprechung mit Hn. Geheimrat Thiersch bin ich gern erbötig. Ich gebe ohne Weiteres zu, dass meine Vorschläge künstlerisch etwas dürftig ausgefallen sind.«⁶²

Das Hinzufügen von Formen (Kreisbahnen), Farben (in willkürlicher Weise), Volumen (nicht zu flach), Immateriellem (Kraftlinien) und Ordnungen (Pfeile, Winkel) sowie das Weglassen von durchaus Relevantem (Kernbewegung) und nicht zuletzt die Anerkennung notwendiger künstlerischer Gestaltung versammeln in diesem frühen Beispiel beinahe alle Probleme, die sich seitdem generell für Bilder der atomaren Welt stellen.

So waren es zum einen neue aktive Bemühungen der Atomphysiker selbst, ein neues Bild vom Atom zu verbreiten und dies durch eine möglichst publikumsgerechte Form zu bewerkstelligen. Zum anderen aber kam offensichtlich hinzu, dass dieser Prozess in Deutschland in den Jahren 1918 bis etwa 1925 stattfand. Diese Zeit schien reif, einer in vielerlei Hinsicht alter Sicherheiten beraubten Öffentlichkeit ein Modell des Atoms zuzumuten, das jegliche Form anschaulicher Stabilität und Undurchdringlichkeit verloren hatte. Das Ende der festgefügtten Kaiserreichsgesellschaft, die ihre eigenen Erwartungen an die Wissenschaft gehabt hatte, war für die Entstehung einer modernen Physik nicht unbedingt von Nachteil. Denn sie brach mit vielen Konzepten der klassischen Physik, und die Begriffe Gesetzmäßigkeit, Kausalität und Individualität, denen in der physikalischen Diskussion nun besondere Aufmerksamkeit zukam, hatten durchaus auch eine gewisse Beziehung zu gesellschaftlichen Werten. So erlaubten neue Freiheiten in den Jahren nach 1918 in Zeitschriften, in Ausstellungen und sogar durch den Rundfunk (Abb. 13)⁶³ die Etablierung einer neuen Ikonographie des Atoms, die schließlich Einzug in den Bildungskanon weiterführender Schulen hielt.

Die theoretische Physik revolutionierte 1925 mit der Quantenmechanik indes erneut die Vorstellungen vom Mikrokosmos. So war nach der

62 Arnold Sommerfeld und Oskar von Miller, Brief vom 5. März 1918, Verwaltungsarchiv des Deutschen Museums, Chemie 1271.

63 Die Abbildungen wurden offenbar aus einem kurz zuvor erschienenen Buch entnommen oder adaptiert, vgl. Kramers/Holst, *Atom*, 1925.

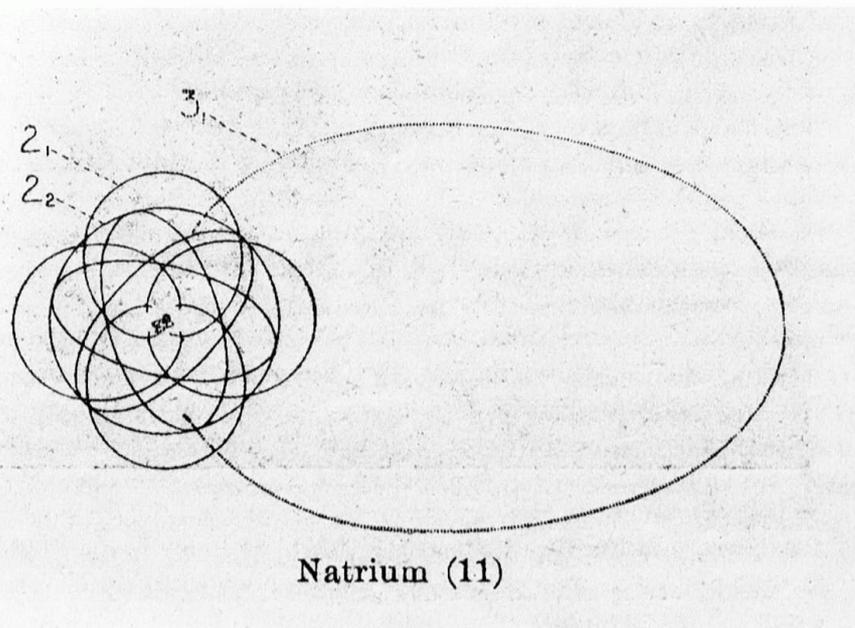


Abb. 13: In der Bayrischen Radio-Zeitung abgedruckte Zeichnung eines komplizierteren Atoms zu einem 1925 im Radio übertragenen Vortrag von Kasimir Fajans.

Heisenberg'schen Unbestimmtheitsrelation eine genaue Bestimmung von Ort und Geschwindigkeit eines Elektrons im Atom ausgeschlossen und die Annahme der Existenz konkreter Bahnen damit obsolet. Doch gegenüber diesem erneuten theoretischen Wandel, deren Voraussagen bald auch experimentell nachzuweisen waren, sollte die zuvor errungene moderne Ikonographie des Atoms seine Autonomie behaupten.

Literatur

- Bigg, Charlotte: Brownian Motion and Microphysical Reality c. 1900. Precirculated paper for the workshop on »New path of physical knowledge: Science and the changing sense of reality c. 1900«, Berlin 2004.
- Bohr, Niels: On the Quantum Theory of Radiation and the Structure of the Atom, in: Philosophical Magazine 30 (1915), S. 394-415.
- Cahan, David: The Zeiss Werke and the Ultramicroscope. The Creation of a Scientific Instrument in Context, in: Buchwald, Jed Z. (Hg.): Scientific Credibility and Technical Standards in 19th and early 20th Century Germany and Britain. Dordrecht 1996, S. 67-115.

- Churchland, Paul M./Hooker, Clifford A.: *Images of Science. Essays on Realism, and Empiricism with a Reply from Bas C. van Fraassen*. Chicago, London 1985.
- Crary, Jonathan: *Techniken des Betrachters. Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert*. Dresden, Basel 1996.
- Daston, Lorraine: *Wunder, Beweise und Tatsachen. Zur Geschichte der Rationalität*. Frankfurt/Main 2001.
- Debye, Peter: *Zerstreung von Röntgenstrahlen*, in: *Annalen der Physik* 46 (1915), S. 809-823 (zuerst in: *Nachrichten der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Math.-Nat. Klasse*, 1915, S. 70-76).
- Debye, Peter/Scherrer, Paul: *Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht I.*, in: *Nachrichten der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Math.-Nat. Klasse* 1916, S. 1-15 (auch *Physikalische Zeitschrift* 17 (1916), S. 277-283).
- *Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht II.*, in: *Nachrichten der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Math.-Nat. Klasse* 1916, S. 16-26 (auch *Physikalische Zeitschrift* 17 (1916), S. 284-290).
 - *Interferenzen an regellos orientierten Teilchen im Röntgenlicht III. Über die Konstitution von Graphit und amorpher Kohle*, *Nachrichten der Göttinger Akademie der Wissenschaften, Math.-Nat. Klasse* 1917, S. 180-188 (auch *Physikalische Zeitschrift* 18 (1917), S. 291-301).
- du Bois-Reymond, Emil: *Über die Grenzen des Naturerkennens*. Leipzig 1872.
- Ede, Andrew: *Microscope, Ultra-*, in: Bud, Robert/Warner, Deborah (Hg.): *Instruments of Science. An Historical Encyclopedia*. New York, London 1998, S. 400f.
- Einstein, Albert: *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen*, in: *Annalen der Physik* 17 (1905), S. 549-560.
- Ewald, Paul Peter: *Max von Laue 1879-1960*, in: *Biographical Memoirs of the Fellows of the Royal Society*, London 6 (1960), S. 135-156.
- Fajans, Kasimir: *Aufbau der Materie. II. Der Bau der Atome (Zu dem Vortrag von Prof. Dr. K. Fajans am Dienstag, 28. April, 6.30 Uhr abends)*, in: *Bayrische Radio-Zeitung* 2 (1925), S. 579-581.
- Franck, James/Hertz, Gustav: *Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und den Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung desselben*, in: *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft* 16 (1914), S. 457-467.
- *Über Kinetik von Elektronen und Ionen in Gasen*, in: *Physikalische Zeitschrift* 17 (1916), S. 409-416, 430-440.
- Fraassen, Bas C. van, *Empiricism in the Philosophy of Science*, in: Churchland/Hooker, *Images*, 1985, S. 245-308.
- Galison, Peter: *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics*. Chicago 1997.
- *Images Scatter into Data, Data Gather into Images*, in: Latour, Bruno (Hg.): *Iconoclash. Beyond the Image Wars in Science, Religion and Art on the Occasion of the Exhibition Iconoclash Karlsruhe, 4 May – 4 August 2002*. Karlsruhe 2002, S. 300-323.
- Giere, Ronald (Hg.): *Cognitive Models of Science*. Minneapolis 1992.
- Glotz, Peter: *Das Visuelle Zeitalter*, in: Hoffmann, Hilmar (Hg.): *Gestern begann die Zukunft. Entwicklung und gesellschaftliche Bedeutung der Medienvielfalt*. Darmstadt 1994, S. 38-44.

- Goodman, Nelson: *Ways of Worldmaking*. Indianapolis 1978 (dt. 1990).
- Hacking, Ian: Do We See Through a Microscope?, in: *Pacific Philosophical Quarterly* 62 (1981), S. 305-322 (dt. in ders., *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1996, S. 309-347).
- *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Science*. Cambridge 1983 (dt. als *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften*, Stuttgart 1996).
- Heilbron, John L.: *Lectures on the History of Atomic Physics 1900-1922*, in: Weiner, Charles (Hg.): *History of Twentieth Century Physics*. New York 1977, S. 40-108.
- Heisenberg, Werner: Über den anschaulichen Inhalt der quantenmechanischen Kinetik und Mechanik, in: *Zeitschrift für Physik* 14 (1927), S. 172-198.
- Hell, Stefan W.: Neues Gesetz zur Auflösung in der Lichtmikroskopie ermöglicht Bilder in bisher ungekannter Schärfe, in: *Jahrbuch der Max-Planck-Gesellschaft* 2005, http://mpg.de/bilderBerichteDokumente/dokumentation/jahrbuch/2005/biophysikalische_chemie/forschungsSchwerpunkt/index.html (15.4.2007).
- Hell, Stefan W./Kroug, M.: Ground-state Depletion Fluorescence Microscopy, a Concept for Breaking the Diffraction Resolution Limit, in: *Applied Physics B* 60 (1995), S. 495-497.
- Hennig, Jochen: Versinnlichung des Unzugänglichen. Oberflächendarstellungen in der zeitgenössischen Mikroskopie, in: Heßler, *Sichtbarkeiten*, 2006, S. 99-116.
- Heßler, Martina (Hg.): *Konstruierte Sichtbarkeiten*. Wissenschafts- und Technikbilder seit der Frühen Neuzeit, München 2006.
- Hilbert, David: *Mathematische Probleme*, in: *Archiv für Mathematik und Physik* 3. Reihe, Bd. 1 (1901), S. 44-63 and 213-37 (reprinted in David Hilbert: *Gesammelte Abhandlungen*, Vol. 3, Berlin 1935, S. 290-329).
- Hilgartner, Stephen: The Dominant View of Popularization. Conceptual Problems, Political Uses, in: *Social Studies of Science* 20 (1990), S. 519-539.
- Hon, Giora: Franck and Hertz versus Townsend: A Study of Two Types of Experimental Error, in: *Historical Studies in the Physical Sciences* 20 (1989), S. 79-106.
- *From Propagation to Structure: The Experimental Technique of Bombardment as a Contributing Factor to the Emerging Quantum Physics*, in: *Physics in Perspective* 5 (2003), S. 150-173.
- Kahn, Fritz: Das Ultramikroskop, in: *Kosmos* 14 (1917), S. 90-95.
- Kemp, Martin: Seeing and Picturing. Visual Representation in Twentieth-Century Science, in: Krige, John/Pestre, Dominique (Hg.): *Science in the Twentieth Century*. Amsterdam 1997, S. 361-390.
- Kramers, Hendrik A./Holst, Helge: *Das Atom und die Bohrsche Theorie seines Baues*. Berlin 1925 (engl. Ausgabe 1923).
- Lefèvre, Wolfgang/Renn, Jürgen/Schöpfli, Urs (Hg.): *The Power of Images in Early Modern Science*. Basel 2003.
- Lenard, Philipp: Über die Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit, in: *Annalen der Physik* 12 (1903), S. 714-744.
- Über Kathodenstrahlen [Nobel-Vortrag], in: Lenard, Philipp: *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Bd. 3. Leipzig 1906, S. 167-197.

- Leonard, William Ellery (Übersetzer): Titus Lucretius Carus, *Of the Nature of Things; a Metrical Translation*. New York 1916 (zahlreiche Reprints, online unter http://classics.mit.edu/Carus/nature_things.html).
- Lukrez: *Über die Natur der Dinge*. Aus dem Lateinischen übersetzt von Hermann Diels. Berlin 1957.
- Lüthy, Christoph: The Invention of Atomist Iconography, in: Lefèvre/Renn/Schöpfelin, *Power*, 2003, S. 117-138.
- Martinez, Ruben: Plum Pudding and the Folklore of Physics. Vortrag auf dem History of Science Society Annual Meeting, Cambridge/Mass. 2003 (Zusammenfassung verfügbar unter <http://www.hssonline.org//Meeting/program/archiveprogs/2003%20Abstracts.htm>).
- Max-Planck-Gesellschaft: *Jahrbuch 2005, Göttingen 2005*.
- Miller, Arthur I.: Imagery and Representations in Twentieth-Century Physics, in: Mary Jo Nye (Hg.): *The Cambridge History of Science, Vol. 5: The modern Physical and Mathematical Sciences*. Cambridge u.a. 2003, S. 191-215.
- *Imagery in Scientific Thought: Creating Twentieth Century Physics*. Boston 1984.
 - *Visualization Lost and Regained: The Genesis of the Quantum Theory 1913-1927*, in: Wechsler, Judith (Hg.): *On Aesthetics in Science*. Cambridge/Mass. 1978, S. 73-101.
- Mitchell, William James Thomas: *The Pictorial Turn*, in: ders.: *Picture Theory*. Chicago, London 1994, S. 11-34.
- Murdoch, John E.: *Album of Science. Antiquity and Middle Ages*. New York 1984.
- Nye, Mary Jo: *Molecular Reality: A Perspective on the Scientific Work of Jean Perrin*. London 1972.
- Ott, Heinrich: *Strukturbestimmung mit Röntgeninterferenzen*, in: Wien, Wilhelm (Hg.): *Handbuch der Experimentalphysik, Band 7/2*. Leipzig 1928.
- Perrin, Jean: *Agitation moléculaire et mouvement brownien*, in: *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 146 (1908), S. 967.
- *Mouvement brownien et réalité moléculaire*, in: *Annales de Chimie et de Physique* 8, ser. 18 (1909), S. 5-114.
- Rasmussen, Nicolas: *Picture Control. The Electron Microscope and the Transformation of Biology in America, 1940-1960*. Stanford 1997.
- Scherrer, Paul: *Das Raumgitter des Aluminiums*, in: *Physikalische Zeitschrift* 19 (1918), S. 23-27.
- **Personal Reminiscences**, in: **Ewald, Paul P.: Fifty Years of X-Ray Diffraction**. Utrecht 1962, S. 642-646.
- Schickore, Jutta: **Ever-present Impediments: Exploring Instruments and Methods of Microscopy**, in: *Perspectives on Science* 10 (2001), S. 126-145.
- Schirmmacher, Arne: *Das leere Atom. Instrumente, Experimente und Vorstellungen zur Atomstruktur um 1903*, in: Hashagen, Ulf/Blumtritt, Oskar/Trischler, Helmut (Hg.): *Circa 1903: Artefakte in der Gründungszeit des Deutschen Museums*. München 2003, S. 127-152.
- *Looking into (the) Matter. Scientific Artefacts and Atomistic Iconography*, Arbeitspapier des Münchner Zentrums für Wissenschafts- und Technikgeschichte, München 2006, http://www.mzwtg.mwn.de/arbeitspapiere/arbeitspapier_schirmmacher_2006.pdf.

- Der lange Weg zum neuen Bild des Atoms. Zum Vermittlungssystem der Naturwissenschaften zwischen Jahrhundertwende und Weimarer Republik, in: Nikolow, Sybilla/Schirmacher, Arne (Hg.): Wissenschaft und Öffentlichkeit als Ressourcen füreinander. Studien zur Wissenschaftsgeschichte im 20. Jahrhundert, Frankfurt/Main 2007, S. 39-73.
- Sieverking, H.: Sichtbarmachung der Moleküle nach Laue und Wilson, in: Kosmos 10 (1913), S. 265-268.
- Vinnikov, Victor: We Shall Know: Hilbert's Apology, in: Mathematical Intelligencer 21 (1999), S. 42-46.
- Voigt, Woldemar: Lehrbuch der Kristallphysik (mit Ausschluß der Kristalloptik). Leipzig, Berlin 1910.
- Weingart, Peter: Die Stunde der Wahrheit? Vom Verhältnis der Wissenschaft zu Politik, Wirtschaft und Medien in der Wissensgesellschaft. Weilerswist 2001.
- Zsigmondy, Richard/Siedentopf, Richard: Über Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser, in: Annalen der Physik 10 (1903), S. 1-39.