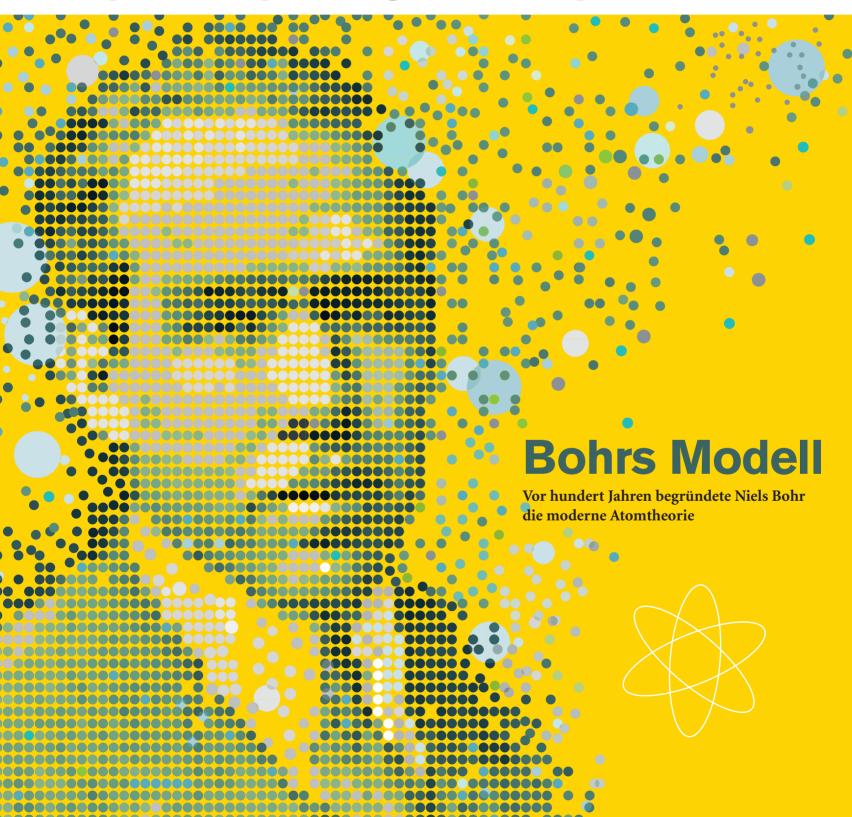




Vielfache Wahrheiten Vor 100 Jahren veröffentlichte Niels Bohr sein Quantenmodell des Atoms
75 Jahre Kernspaltung Die Geschichte des Otto-Hahn-Tischs im Deutschen Museum
Ein Wal kann fliegen Mit zwei Flugbooten Dorniers reiste Roald Amundsen 1925 an den Nordpol

### KULTUR & TECHNIK





Liebe Leserin, lieber Leser,

es war und ist für Wissenschaftler nicht leicht, sich mit neuen Ideen gegen etabliertes Wissen durchzusetzen. Außenstehenden mag manches Beharren im Nachhinein als borniert erscheinen, zumal da der Ton durchaus rüde sein kann. Auseinandersetzungen um die jeweils korrekte Theorie werden gerade unter Kollegen oft äußerst emotional geführt. Auch die Theorien des jungen Niels Bohr stießen im arrivierten wissenschaftlichen Lager zunächst auf Irritation (Heilbron, S. 6 ff.). Und das Deutsche Museum tat die Lehren der »Atomisten« anfangs als Spinnerei ab – nicht wert, sie einem größerem Publikum zu präsentieren (Eckert, S. 12 ff.).

Kurzsichtigkeit? Vielleicht. Andererseits schützt sich Wissenschaft durch konservative Zurückhaltung auch gegen allzu wohlfeile Thesen und Hirngespinste. Niels Bohr war ein Querdenker. Und zum Glück war er ebenso hartnäckig wie genial und konnte sich mit seiner Idee durchsetzen. Bis heute prägt sein Modell das öffentliche Bild vom Atom, obwohl es schon zu Bohrs Lebzeiten weiterentwickelt wurde.

Modelle sind – wer wüsste das besser als wir Museumsmacher – eine heikle Sache. Sie dienen bestenfalls als anschauliche Hilfe zur Erläuterung eines Sachverhalts – und transportieren doch, oft ungewollt, ganze Weltbilder. Welche

ATON -Atomkers 3 mm Bilder sind geeignet, Laien den Zugang zu erleichtern, ohne sie auf falsche Fährten zu führen? Wissenschaft allgemein verständlich zu präsentieren gleicht oft genug einer Gratwanderung (Sicka, S. 26 ff.).

Auf schmalem Grat balanciert – nicht zuletzt aus diesem Grund – bisweilen auch die Redaktion unseres Mitgliedermagazins. Der Beitrag zur Homöopathie in unserer letzten Ausgabe erweckte den Unmut etlicher Leser. Das Echo zeigt mir, dass das Magazin aufmerksam gelesen wird. Weniger schön für mich und unser Haus ist allerdings, dass einige Leser den Eindruck gewonnen haben, das Deutsche Museum würde neuerdings esoterischen Praktiken das Wort reden (Leserbriefe, S. 62).

Ich kann Ihnen versichern, dass dies nicht der Fall ist. Auch wenn unsere Autorinnen und Autoren keineswegs immer die Meinung des Deutschen Museums wiedergeben müssen, hätte ich mir – insbesondere bei der Auswahl der Literaturliste – mehr Ausgewogenheit gewünscht. Um ein wenig Nachsicht möchte ich allerdings die Expertinnen und Experten unter unseren Mitgliedern auch bitten. Wir wollen mit diesem Magazin ein möglichst breites Publikum ansprechen. Daher achten wir darauf, dass es neben »schwierigeren« Beiträgen auch gut verständliche Lesestücke im Heft gibt. Neben Wissenschaftlern und Kuratoren schreiben für unser Magazin auch Journalisten, die Themen aus anderen Perspektiven angehen – wiederum ein steter Drahtseilakt, der mal besser, mal schlechter gelingt.

Ihr Wolfgang M. Heckl

Professor Dr. Wolfgang M. Heckl

Generaldirektor

Besuchern der Ausstellung Atomphysik die Größenverhältnisse veranschaulicht. Dazu erläuterte eine Texttafel: »Um uns ein Atom vorstellen zu können, müssen wir uns dieses billionenfach vergrößert denken. Wir erhalten dann eine Kugel, in der ein ganzer Dom Platz hätte, und im Inneren schwebt, von Elektronenwolken umgeben, der Atomkern als erbsengroßes Kügelchen von ca. drei Millimeter Durchmesser.«

Wie groß ist ein Atom?

Besucherinnen und

Mit dem Bild rechts wurden



#### 6

Das Atommodell des dänischen Physikers Niels Bohr (im Bild mit seiner Frau Margrethe) prägt bis heute das Bild vom Aufbau der Atome.

#### 12

Nach Angaben des Physikers Arnold Sommerfeld entstand dieses Modell eines Eisenatoms.



Mit den Gerätschaften, die auf diesem Tisch gezeigt werden, gelang Otto Hahn, Lise Meitner und Fritz Straßmann die erste nachweisliche Spaltung von Atomkernen.



18

Didaktiker sind sich uneins: Soll das Bohr'sche Atommodell an Schulen und Universitäten künftig noch gelehrt werden?



### 30

Die Öffentlichkeit bestimmt, welche Bilder der Wissenschaft sich im kollektiven Gedächtnis etablieren.



Was Atome mit Rosinenkuchen zu tun haben, erfährst du in MikroMakro.



44



Mehr als sechshundert große und kleine Kugel- und Wälzlager tun im Haushalt ihren Dienst.



Ab 26. Juli 2013 zeigt eine Sonderausstellung im Deutschen Museum die Vielfalt der Ernährung.





#### **BOHRS MODELL**

**6** Vielfache Wahrheiten

Niels Bohr und sein Quantenmodell des Atoms | John Heilbron

12 Das Bohr'sche Atommodell im Deutschen Museum

Arnold Sommerfeld entwirft ein Atommodell | Von Michael Eckert

**18** 75 Jahre Kernspaltung

Der »Otto-Hahn-Tisch« im Deutschen Museum | Von Susanne Rehn

**26** Ende der Märchenstunde

Das Bohr'sche Atommodell in Unterricht und Lehre | Von Christian Sicka

**30** Das Atom als Planetensystem

Bilder der Wissenschaft in der Öffentlichkeit | Von Arne Schirrmacher

36 Symbole der Hoffnung, Boten der Angst

Die Einstellung zum Atom hat sich verändert | Von Michael Schüring

#### **MAGAZIN**

44 Kugellager bewegen die Welt

Auf Schatzsuche im Deutschen Museum | Von Klaus Gertoberens

48 Ein Wal kann fliegen

Mit zwei Flugbooten zum Nordpol | Von Barbara Grilz

**53** Das Gelbe vom Ei

Sonderausstellung Ernährung | Von Margherita Kemper und Isabel Martin

#### **STANDARD**

- 3 Editorial
- 40 MikroMakro

Die Seiten für junge Leser

**57** Deutsches Museum intern

58 Neues aus dem Freundes- und Förderkreis

- 64 Schlusspunkt
- 66 Vorschau, Impressum



Redaktionelle Betreuung

Dr. Michael Eckert
hat diese Ausgabe konzipiert
und betreut. Er ist Physikhistoriker am Forschungsinstitut des Deutschen
Museums. In den letzten
Jahren galt seine Arbeit einer
Biografie des theoretischen
Physikers Arnold Sommerfeld,
die kürzlich erschienen ist.

Margrethe und Niels Bohr

## Vielfache Wahrheiten

Niels Bohr und sein Quantenmodell des Atoms. Von John Heilbron

Aufsatz über das Wasserstoffatom veröffentlichte, hatten H. A. Lorentz, Max Planck, Albert Einstein und wenige andere Theoretiker schon begonnen, die "Schrift an der Wand" zu deuten, die ihnen mit Formeln wie »E = h v« begegnete. Ebenso wie Bohr wussten auch sie, dass die von ihnen so hervorragend repräsentierte klassische Physik nicht ausreichte, um den Mikrokosmos der Atome und Moleküle zu beschreiben. Im Gegensatz zu ihm aber hofften sie, dass die notwendigen Modifikationen nicht mit der Preisgabe von Kontinuität, Kausalität und Raum-Zeit-Beschreibung verbunden sein würden, den Grundlagen ihrer Auffassung von Physik. Bohr forderte jedoch auch dieses Opfer und brachte es liebend gern selbst.

Allerdings hatte er damals als Physiker auch noch nicht allzu viel zu verlieren. Seine ausgezeichnete Dissertation lag nur auf Dänisch vor, weder auf Englisch noch auf Deutsch waren wichtige Arbeiten von ihm erschienen. Besagtes »Opfer« konnte er auch deshalb bringen, weil er die fast übernatürliche Fähigkeit besaß, nicht miteinander vereinbare und sogar einander widersprechende Theorien gleichzeitig zu vertreten und zugleich zu propagieren, dass bei der Formulierung physikalischer Prinzipien jede Mehrdeutigkeit zu vermeiden sei. »Das Gegenteil einer tiefen Wahrheit ist wiederum eine tiefe Wahrheit«, lautet einer seiner rätselhaften Aphorismen, »und das Gegenteil einer trivialen Wahrheit ist Klarheit.«

Das Bohr'sche Atommodell erscheint auch nicht sehr klar, denn es basiert auf ganz unterschiedlichen Grundlagen, was die Quantenphysik angeht (siehe Kasten). Bohr hatte aber seine Gründe, warum er seine Theorie mehrfach untermau-



julies of the begge to amount bety hours, det lan is man ligeran bety hours, and how a short was a lower man than time, det and aga more almost and the land of th

erte. Licht ins Dunkel der Frage nach Bohrs Beweggründen bringt die Korrespondenz zwischen ihm und seiner Verlobten Margrethe Norlund aus den Jahren 1911/12. Nach seiner Promotion lebte Bohr in diesen Jahren in England.

Demnächst werden Auszüge aus diesem bisher nicht einsehbaren Briefwechsel veröffentlicht, die neben anderen Dokumenten zeigen, dass Bohr bereits lange vor seiner Beschäftigung mit dem Quantenmodell des Atoms eine allgemeine Epistemologie vielfacher und partieller Wahrheiten skizziert hatte, die ihm bei der Darstellung und höchstwahrscheinlich auch bei der Entwicklung seiner großen Erfindung als Richtschnur diente.

Das Problem, für dessen Lösung Bohr diese mehrfachen Quantenpostulate benötigte, war die Entwicklungsfähigkeit des Rutherford'schen Atommodells, bei dem anders als im Thomson'schen Modell der Atomkern zu einem Punkt im Zentrum zusammenschrumpfte. Als er sich 1912 in Rutherfords Labor mit dem Problem zu beschäftigen begann genau ein Jahr vor der Veröffentlichung des erwähnten Aufsatzes -, schenkte er den Spektren noch keinerlei Beachtung. Seine Bemühungen zielten darauf ab, mit Hilfe des Atomkerns nicht nur die anomale Streuung von Alphateilchen zu erklären (dazu hatte Rutherford den Kern in seinem Atommodell eingeführt), sondern auch die weiter reichenden, von J. J. Thomson aufgeworfenen Probleme der Atomstruktur zu lösen: die Frage der periodischen Eigenschaften der Elemente, der Bindung von Atomen zu Molekülen, der Radioaktivität und (am allerwichtigsten) die Frage der Beziehung zwischen der Anzahl der Elektronen in einem Atom (n) und der Atommasse (A).

Thomson hatte bei der Beantwortung dieser Fragen Fortschritte mit Hilfe eines Atommodells gemacht, in dem die Elektronen in konzentrischen Bahnen innerhalb eines kugelförmigen Raums kreisen, der sich so verhält, als wäre er positiv geladen. (Rutherford reduzierte diesen Raum auf einen Punkt im Zentrum und entwickelte aus Thomsons Atom das Modell, das er für seine Theorie der Streuung von Alphateilchen verwendete.) Der chemischen Periodizität trug Thomson Rechnung, indem er das Verhalten der Elektronenbahnen bei kleinen Störungen untersuchte.

Ein neutrales Atom ist nur dann stabil, wenn sich seine Elektronen auf Bahnen in bestimmten Anordnungen verteilen, die bis zu einem gewissen Grad die Abfolge und Periodizität chemischer Eigenschaften widerspiegeln. Die molekulare Bindung war für Thomson eine Folge der Elektronenverlagerung, während er Radioaktivität als die Explosion von Atomen betrachtete, die infolge von Strahlung oder aufgrund anderer Ursachen Energie verloren hatten. Die Beziehung zwischen n und A erforschte er mittels ausführlicher Berechnungen und Experimente zur Streuung von Röntgenstrahlen und Betateilchen. Als Bohr sein Modell zu entwickeln begann, lautete Thomsons beste Schätzung n  $\approx$  3A.

Im Gegensatz zu Thomsons Annäherungswerten gab die Rutherford'sche Streuformel eine exakte Antwort auf die Frage nach der Beziehung zwischen n und A, zumindest in Bezug auf Helium, nämlich n = A/2 (Rutherford betrachtete das Alphateilchen, das, wie er wusste, ein Heliumatom minus zwei Elektronen ist, als einen Punkt, sprich einen Atomkern, daher  $n_{He} = 2$ , und, da  $A_{He} = 4$ ,  $n_{He} = A_{He}/2$ ). Dieses exakte Ergebnis fügte sich in das Konzept der Ordnungszahl ein: Wenn Helium zwei Elektronen hat, kann Wasserstoff nur eines und muss Lithium drei haben usw. Die treffliche Beantwortung von Thomsons wichtigster Frage ermutigte Bohr dazu, die anderen in Angriff zu nehmen. Das Thema Radioaktivität schaffte er aus dem Weg (bzw. verschob diesbezügliche Überlegungen), indem er sie in den Kern verlagerte. Und er entwarf einfache Moleküle als Hanteln, die durch ein Band aus Elektronen der jeweiligen Atome zusammengehalten werden.

#### Das Atom erhält eine definierte Größe

Blieb das große Problem, dass das Band sowie die den Atomkern umgebenden Elektronenringe mechanisch instabil sind, wenn n > 1. Mit den althergebrachten physikalischen Konzepten allein konnte Bohr weder Moleküle noch Atome darstellen. Doch in seinen Augen bot dieses Problem, das die herkömmlichen Physiker geradezu verschreckte, sogar eine Verbesserung des Rutherford'schen Atommodells. Aus der Arbeit an seiner Dissertation über die Elektronentheorie der Metalle wusste er, dass sich die anerkannten Theorien über diverse Phänomene, darunter die wenige Jahre zuvor von Thomsons ehemaligem Studenten Paul Langevin gewonnenen Erkenntnisse über Para- und Diamagnetismus, nicht halten ließen, wenn in Atomen gebundene Elektronen alle



Vor hundert Jahren, im Juli, September und November 1913, veröffentlichte Niels Bohr im Philosophical Magazine drei Aufsätze. die alle dem Thema »On the Constitution of Atoms and Molecules gewidmet waren. Im ersten Teil behandelte er auf etwa zehn Druckseiten das, was wir heute als das Bohr'sche Atommodell bezeichnen: eine neue, auf der Quantenvorstellung begründete Theorie des Wasserstoff-

»Ich kann es fast als meine Religion bezeichnen, dass ich alles, was irgendeinen Wert besitzt, für wahr halte.« (Niels Bohr)

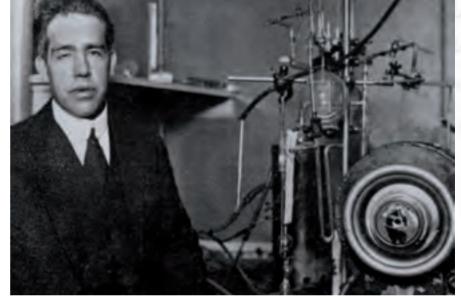


Freiheit hatten, die ihnen das mechanische Prinzip der Gleichverteilung der Energie gewährt. Daher bestärkte es Bohr in seiner Auffassung, dass es im Rutherford'schen Atommodell für die Elektronen irgendeine Bedingung geben musste, die ihre Bewegung einschränkte und nach der klassischen Mechanik nicht erklärbar war. Dazu kam als zweiter Gesichtspunkt, dass es nach der klassischen Physik nichts gab, was dem aus Kern und Elektronen bestehenden Atom eine bestimmte Größe vorschrieb. Bohr gelang es, den Atomen Größe und Existenz gleichzeitig zu verleihen.

Im Juli 1912 legte er Rutherford in einem Memorandum dar, wie man das Atommodell berechenbar machen und auf die von Thomson für jede Theorie der Atomstruktur als fundamental erklärten Fragen anwendbar machen könnte. Bohr bestimmte, dass ein Elektron im Grundzustand oder »stabilen« Zustand, also dann, wenn es alle Energie verloren hat, die ihm die Natur loszuwerden erlaubt, eine kinetische Energie proportional zu seiner Umlauffrequenz aufweist. Das war das erste Quantenpostulat (siehe Kasten). Für die Proportionalitätskonstante nahm er an, dass es sich dabei um einen Bruchteil der Planck'schen Quantenkonstante h handle.

#### **Gedanklicher Richtungswechsel**

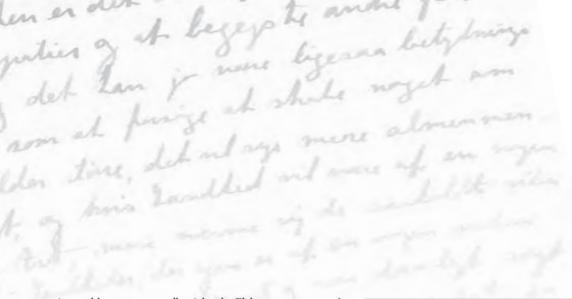
Als er später, wieder in Kopenhagen, Spektren in seine Überlegungen miteinbezog, kam er zu dem Ergebnis, dass die Proportionalitätskonstante gerade h/2 sein sollte. Im ursprünglichen Postulat, das er Rutherford vorgelegt hatte, war allerdings, wie schon erwähnt, weder von Spektren die Rede gewesen noch auch nur andeutungsweise von Quantensprüngen, sondern von einem einzigen Zustand, in dem, abgesehen von der im Grundpostulat enthaltenen Einschränkung und der Vorgabe der Stabilität, die klassische Mechanik herrschte. Mit Hilfe des Postulats und der Gesetze der klassischen Mechanik konnte Bohr den Radius des Wasserstoffatoms auf einen bestimmten Wert festlegen. In der Weihnachtszeit des Jahres 1912 las er die Aufsätze eines konkurrierenden Atomwissenschaftlers, des in Cambridge lehrenden John William Nicholson, dem es gelungen war, unter Einbeziehung der Planck'schen Konstante Spektralfrequenzen zu berechnen. Um innerhalb seines Modells auch den Strahlungsprozess zu berücksichtigen, stattete Bohr es mit höheren Grundzuständen aus, die er durch eine Verallgemeinerung



Niels Bohr auf dem Motorrad (Bild oben) und in seinem Labor (Bild unten).

des ersten Quantenpostulats auf n verschiedene Bahnen bestimmte (siehe Kasten). Er selbst aber arbeitete weiter an der Lösung der von Thomson aufgeworfenen Probleme. Die Ergebnisse finden sich im zweiten und dritten Teil seiner Trilogie von 1913, *Über den Aufbau von Atomen und Molekülen*. Ansporn zum gedanklichen Richtungswechsel, der im Februar 1913 erfolgte, war die Bitte eines Kollegen um eine Erklärung für die Balmer-Formel, die auf erstaunlich einfache Weise die Frequenzen einer Serie von Wasserstoffspektrallinien beschrieb.

Angeregt durch diese Bitte gelangte Bohr zu seinem zweiten Quantenpostulat. Darin setzte er den Energieunterschied zwischen verschiedenen stationären Elektronenbahnen in eine Beziehung zur Frequenz der Spektrallinien. Das bedeutete, dass die Frequenzen der emittierten Spektrallinien nur sehr wenig Übereinstimmung mit den Umlauffrequenzen der sie angeblich erzeugenden Elektronen aufwiesen. Diese mangelnde Übereinstimmung hielt sowohl er selbst als auch Einstein für das revolutionärste Merkmal seines Modells. Zusammen mit dem Konzept des Quantensprungs, dem zufolge ein von der n-ten zur zweiten Bahn springendes Wasserstoffatom die n-te Balmer-Linie erzeugt, sorgte die Erkenntnis, dass die Umlauffrequenz der Elektronen und die Frequenz der Spektrallinien nicht übereinstimmen, dafür, dass sich der



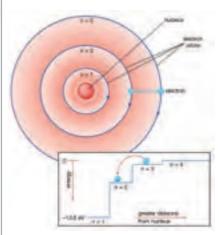
Ausstrahlungsvorgang selbst (also der Elektronensprung zwischen zwei stationären Bahnen) der Theorie entzog. Das Modell erlaubte es nicht, ihn detailliert zu erforschen.

Zwischen Bohrs Kenntnisnahme der Balmer-Formel und der Fertigstellung des ersten Teils der Trilogie verging kaum ein Monat. Sein hohes Arbeitstempo hing damit zusammen, dass sich ihm aufgrund der zuvor angestellten Berechnungen die relevanten Gleichungen eingeprägt hatten und ihn die Widersprüche zwischen der quantenphysikalischen Betrachtung von Strahlung, Störungen und Dimensionen und der mechanischen Darstellung der stationären Zustände nicht störten. Ganz im Gegenteil: Sie passten wunderbar zu seinen erkenntnistheoretischen Vorstellungen.

#### Viele Wahrheiten

Kurz nach seiner Ankunft in England im September 1911 trug Bohr bei einem Mittagessen mehreren Mathematikern seine Ansichten zum Begriff der Wahrheit vor. Seiner Verlobten berichtete er über dieses Gespräch allerdings nur, dass keiner der Anwesenden jemals dergleichen gehört hatte. Möglicherweise enthält aber der im Folgenden zitierte Brief etwas von dem, was Bohr den Herren damals sagte. Bohr entschuldigt sich in dem Schreiben für seine Kritik an Thomas Carlyles Buch *Helden und Heldenverehrung*, das Margrethe ihm geschickt hatte.

»Du fragst, wie das, was ich über Carlyle schrieb, gemeint sei. [...] Wenn ich [seinen Stil] als Predigtton bezeichne, will ich damit nur sagen, dass man an eine Predigt nicht den Anspruch erhebt, ausschließlich Wahres zu enthalten, so wie man das auch von einem großen Werk der Literatur nicht erwartet. Es gibt ja so viele verschiedene Wahrheiten [...]. Eine Predigt hat den hauptsächlichen Zweck, die eigene Gesinnung zu zeigen und andere dafür zu begeistern, was selbstverständlich ebenso wichtig sein kann, wie etwas zu erschaffen, was man größer – das heißt in universellerem Maße menschlich – nennt und dessen Wahrheit etwas anders geartet ist, nämlich näher bei den sogenannten wissenschaftlichen Wahrheiten, die ihrerseits etwas anders geartet sind. Das ist sehr dumm und schlecht ausgedrückt, aber [...] es liegt mir sehr am Herzen; ich kann es fast als meine Religion bezeichnen, dass ich alles, was irgendeinen Wert besitzt, für wahr halte.«



### Vier Quantenpostulate im Bohr'schen Atommodell

Bohr nannte vier Quantenpostulate, um seinen Berechnungen einen Rückhalt zu geben. Die heutigen Physiker erinnern sich nur mehr an das letzte dieser Postulate, das den Drehimpuls eines Elektrons in einer erlaubten Kreisbahn (einem »stationären Zustand«) innerhalb eines Atoms auf ein ganzzahliges Vielfaches von  $h/2\pi$  beschränkt, wobei h die Quantenkonstante bedeutet, die Planck 1900 mit der berühmten Formel E = h v (v ist Frequenz einer Strahlung; E ist die Energie des Oszillators, der die Strahlung aussendet) in die Physik eingeführt hatte

und die in den 13 Jahren danach für die Quantisierung ganz unterschiedlicher Größen benutzt wurde (Energie, Wirkung, Drehimpuls, um nur die häufigsten zu nennen). Das erste Quantenpostulat dachte Bohr aber nicht dem Drehimpuls zu, sondern der Energie, die ein Elektron bei seinem Umlauf um den Atomkern hat. Ohne ein solches Postulat wäre einem Elektron jede beliebige Bahn möglich, so wie ja auch im Sonnensystem ein Planet die Sonne sehr nahe (Merkur) oder in großer Ferne (Pluto) umkreisen kann. Mit dem ersten Quantenpostulat wollte Bohr also die Größe des Wasserstoffatoms festlegen. Die Frequenz in diesem Postulat war die Frequenz des Elektronenumlaufs. Das zweite Quantenpostulat hatte ebenfalls mit der Energie des umlaufenden Elektrons zu tun, allerdings auf ganz andere Weise. Im Wasserstoffatom musste es mehrere stationäre, also quantenmäßig festgelegte Bahnen geben, wenn die vom Atom ausgestrahlten Spektrallinien etwas mit der Elektronenbewegung zu tun haben sollten. Bohr forderte, dass die Planck'sche Energiequantisierung auch für den Energieunterschied zwischen zwei quantenmäßig erlaubten Bahnen gilt. Jetzt sollte aber die Frequenz in der Quantenformel nicht wie im ersten Postulat die Frequenz eines Elektronenumlaufs sein, sondern die einer Spektrallinie. Im dritten Postulat forderte Bohr, dass sich die Frequenz der emittierten Strahlung immer mehr der Umlauffrequenz des Elektrons annähert, wenn sich das Elektron sehr weit vom Atomkern entfernt befindet. In dieser asymptotischen Übereinstimmung deutete sich schon das »Korrespondenzprinzip« an, das den Forschern der Bohr'schen Schule bis zum Aufkommen der Quantenmechanik als Richtschnur dienen sollte. Sie unterscheidet sich in Bezug auf Ausrichtung und Intention von den anderen Postulaten und zeigt, mit welchem Grad an Vieldeutigkeit Bohr zu arbeiten vermochte. Während die ersten beiden Postulate die Kluft zwischen Mikro- und Makrokosmos verdeutlichten, verkleinerte das Korrespondenzprinzip die Diskrepanz enorm. Diese vier Postulate basieren auf unterschiedlichen physikalischen Grundlagen und führen auch zu widersprüchlichen numerischen Resultaten. Die ersten zwei Postulate, die die Energiequanten betreffen und eine Analogie zu Plancks Strahlungsgesetz bilden, sind nicht miteinander vereinbar. Sie ergeben eine Relation zwischen der emittierten Spektrallinie und der Umlauffrequenz, die bei sehr großen Atomen nur die Hälfte der im dritten Postulat angegebenen beträgt. Zweifellos wusste Bohr um diese Unstimmigkeiten. Als aber Ernest Rutherford, mit dessen Hilfe er den Aufsatz veröffentlichte, vorschlug, den Text umzuschreiben und so zu kürzen, dass ein Engländer ihn verstehen könne, beharrte Bohr darauf, alle vier Postulate beizubehalten.

Die Familie war für Niels Bohr ein wichtiger Rückzugsort. Das Ehepaar Bohr hatte sechs Söhne. Zwei von ihnen starben allerdings schon als Kinder.



#### Sprung in den Unglauben

Angesichts dieser ungewöhnlichen Religion lässt sich leicht nachvollziehen, warum Bohr das Buch Stadien auf dem Lebensweg seines Landsmanns Søren Kierkegaard so sehr schätzte, dass er es für eines der besten jemals geschriebenen Bücher hielt. Kierkegaard schildert darin sehr anschaulich die drei wichtigsten dem zivilisierten Menschen möglichen Daseinsformen. Das erste Stadium, das ästhetische, hält bei manchen ein ganzes Leben an und stellt eine Periode des sorglosen Experimentierens dar, in der man von einer Erfahrung, von einer Idee zur nächsten flattert. Kierkegaard beschreibt dieses Stadium in Form von Reden, die von vier »Stellvertretern« seiner vielgestaltigen Persönlichkeit bei einem Symposium über die Liebe, das Leben und das Universum gehalten werden. Alle sagen sie etwas Wahres, aber die Äußerung eines jeden steht im Widerspruch zu dem, was die anderen von sich geben. In das dritte und letzte Stadium, das religiöse, gelangt man nur durch einen Sprung in den Glauben, durch einen Quantensprung, den Bohr allerdings nicht vollführte.

Bohrs Mutter, Tochter eines Bankiers, war Jüdin, sein Vater, ein Physiologieprofessor, Atheist. Trotzdem besuchte der Vater mindestens einmal im Jahr mit seinem Sohn einen Gottesdienst der dänischen Staatskirche, damit der Junge nicht das Gefühl bekam, anders als die anderen Kinder zu sein. Der junge Niels fühlte sich von der Religion stärker angezogen, als sein Vater erwartet haben dürfte. Er habe sich, schrieb er Margrethe, sehr bemüht, an die Erlösung seiner kleinen Seele zu glauben und zu verstehen, was Erlösung überhaupt bedeute. Diesen Kampf habe er jedoch verloren und schlagartig mit voller Überzeugung erkannt, dass das christliche Dogma nicht wahr sein konnte.

Als er seinem Vater, den er über alles liebte, diesen Sprung in den Unglauben gestand, reagierte der mit einem weisen Lächeln. »Dieses Lächeln, meine Kleine, hat [mir] vieles gesagt«, so beschrieb er seiner Verlobten dieses Kindheitserlebnis. »[M]ein Mut brüllte mächtig auf, denn da wusste [ich], dass auch [ich] denken konnte.« Das beifällige Lächeln des Mannes, den er von allen Menschen am meisten bewunderte, sagte ihm, dass er zu den wenigen gehörte, die ihre Überlegungen im Leben mit Vernunft, frei von den herkömmlichen Ansichten der eigenen Klasse und Kultur, des Orts und der



Albert Einstein sagte über Niels Bohr: »Er ist ein wahrhaft genialer Mensch, ein Glück, dass es so was überhaupt gibt.«

Zeit anstellen konnten. Die Szene wiederholte sich gewissermaßen, als Bohr erkannte, dass die klassische Mechanik die Wahrheit des Mikrokosmos ebenso wenig darstellte, wie der konventionelle religiöse Glaube mit dem Sinn des Lebens übereinstimmte.

Bohrs Ablehnung der konventionellen Religion verstörte Margrethes fromme Eltern nicht minder als sein Quantenmodell die Vertreter der klassischen Physik. Bohr blieb sich und dem Andenken seines Vaters treu (Christian Bohr war 1911 gestorben) und verweigerte die kirchliche Trauung. In einem schönen Antwortschreiben auf einen traurigen Brief der zukünftigen Schwiegermutter kam er beiläufig auf seine Erkenntnistheorie zu sprechen:

»Früher habe ich jedes Wort geglaubt – oder besser: hart und siegreich mit meinen Zweifeln gekämpft. (...) [P]lötzlich wusste ich, dass das alles nicht der Wahrheit entsprach, wusste es ohne jeden Zweifel. (...) Aber denken Sie jetzt nicht, dass ich an gar nichts glaube; ich glaube, dass es einen Sinn gibt in der Welt, einen Sinn, den die Menschen nicht erkennen, sondern nur spüren können. Und das macht das Leben für mich nicht etwa ärmer, ganz im Gegenteil. Es wäre so unendlich banal, wenn ich diesen Sinn zu erkennen meinte. Darüber hinaus erkenne ich rein logisch, dass es etwas geben muss, das der Mensch nicht verstehen kann.«

Die logische Unmöglichkeit vollständiger menschlicher Erkenntnis und die zugleich tiefe Überzeugung, dass das Christentum unwahr ist, die vielfachen Wahrheiten des ästhetischen Stadiums und die Teilwahrheiten der verschiedenen Lebensformen – das alles war nicht Bohrs Erfindung, obwohl er diese Gedanken auf einzigartige Weise kombinierte und anwendete. Sie gehen auf Harald Høffding zurück, »einen der klügsten und gelehrtesten aller lebenden Philosophen«. Høffding war ein Freund der Familie und hochangesehener Mentor des jungen Bohr und dessen Kommilitonen an der Universität. Der zitierte Lobgesang auf Høffdings Wissen und Klugheit stammt von seinem Kollegen William James, mit dem er befreundet war und dessen philosophischer Pragmatismus Bohrs geistiges Inventar an unterschiedlichen Ansichten ebenfalls bereichert haben könnte. Zu den zahlreichen von Høffding verfassten Büchern gehört eine Erläuterung der Kierkegaard'schen Philosophie. Manche Historiker sehen Zusammenhänge zwischen Bohrs späterem wissenschaftlichem Werk, insbesondere seinem Komplementaritätsprinzip und der Philosophie von Kierkegaard, Høffding bzw. James. Die nun zugänglichen Familienbriefe deuten auf eine frühe und tiefe Bindung zwischen der dänischen Kultur und Bohrs Physik hin.

#### »Ein wahrhaft genialer Mensch«

Ende 1913 hatte Bohr die Analogien zu Plancks Strahlungsgesetz als »irreführend« verworfen. Seiner Ansicht nach bedurfte es gar nicht so vieler Teilwahrheiten, um das Wesen des Mikrokosmos zu erfassen. Die Quantenmechanik lehrte ihn, dass die Physik alle in Experimenten auftretenden Phänomene mittels Paaren von Teilwahrheiten oder Komplementärbegriffen, beispielsweise Welle und Teilchen, ausreichend erklären kann. Allerdings galt es, die Verwendung jedes Teils eines solchen Paars von Teilwahrheiten zu begrenzen, um Widersprüche und Uneindeutigkeiten beim gleichzeitigen Gebrauch beider zu vermeiden.

In komplementären Dichotomien dachte Bohr auch in den dreißiger Jahren noch, als er die Lehren der Quantenphysik erweiterte und auch die größeren Fragestellungen miteinbezog, die ihn schon interessiert hatten, ehe er sich seiner Denkfähigkeit bewusst geworden war. Dies war keine abrupte Hinwendung zur Philosophie oder ein Zeichen nachlassender Geisteskraft, sondern die Rückkehr zu den Wurzeln seiner Kreativität. Weil er wusste, dass vielfache Wahrheiten als komplementäre Paare auftreten, konnte er



DER A

# John Heilbron hat sich als Wissenschaftshistoriker vor allem auf die Geschichte der Physik und Astronomie spezialisiert. Für seine Arbeiten erhielt er

zahlreiche Preise.

selbstbewusst von Welle und Teilchen, von Raum-Zeit und Kausalität etc. zu freiem Willen und Determinismus, Mechanismus und Vitalismus, Yin und Yang übergehen.

Einstein wusste zwar nicht viel über Bohrs geistiges »Mobiliar«, erkannte Bohrs Genialität aber auch ohne dieses Wissen. Das veranschaulicht ein Brief Einsteins an Paul Ehrenfest, erschienen im jüngsten Band der *Einstein Papers*. Das Schreiben datiert vom 23. März 1922. Bohr war damals mit dem Aufbau seines Instituts für theoretische Physik in Kopenhagen beschäftigt und von dieser Tätigkeit, aber auch von der Denkarbeit an sich, sehr abgekämpft. Einstein fordert die Physiker dazu auf, alles in ihrer Macht Stehende zu tun, um diesen für die Physik so wertvollen Kopf zu schützen. Denn: »Er ist ein wahrhaft genialer Mensch, ein Glück, dass es so was überhaupt gibt.«

Einstein bewunderte auch Bohrs Mut, Ansichten zu äußern, die selbst er, Einstein, der Kritik seiner Kollegen nur zögerlich ausgesetzt hätte. Die psychischen Wurzeln dieses Muts, dieses Selbstbewusstseins, lagen in der außergewöhnlichen Unterstützung, die Bohr, oft auch in direktem Zusammenhang mit seiner wissenschaftlichen Arbeit, durch seine Familie erfuhr. So half sein Bruder Harald bei Berechnungen, während der Labortechniker seines Vaters ihm bei Experimenten zur Hand ging. Noch wichtiger aber war, wie aus der Familienkorrespondenz hervorgeht, dass Bohrs Familie, insbesondere Margrethe, die Stimmungsschwankungen aufzufangen verstand, zu denen er je nach Stand der Arbeit neigte.

In vielen Briefen an Margrethe bittet Niels um ihre Hilfe beim Begleichen großer, aber nicht genau benannter Schulden. Es handelte sich dabei jedoch nicht etwa um eine finanzielle Angelegenheit. Bohr meinte damit offenbar Verpflichtungen gegenüber all denen, die Großes von ihm erwartet hatten, als er frisch promoviert nach Cambridge aufbrach, um Thomson von einer fundierteren Elektronentheorie der Metalle zu überzeugen. Nach dem Scheitern dieses Vorhabens verhalfen ihm der Zuspruch seiner Familie und Rutherfords Anerkennung seiner wissenschaftlichen Fähigkeiten zu neuem Selbstbewusstsein. Auch das empfand er als eine Schuld. Um alles zu vergelten, musste er etwas Wagemutiges tun. In dem Aufsatz von 1913 hätten Bohrs imaginäre Gläubiger sicherlich einen hohen Ertrag ihrer Investitionen erkannt. 

Übersetzung: Michaela Grabinger



In der Frühzeit des Deutschen Museums wollte man von Atomen nichts wissen.
Erst der Physiker Arnold Sommerfeld sorgte dafür, dass ein Modell des Bohr'schen Atoms angefertigt und in der Abteilung Chemie ausgestellt wurde. von Michael Eckert

iels Bohr war Physiker. Sein Atommodell gehört dennoch auch ins Reich der Chemie. »Der Atomismus der Materie besteht so lange, als es eine wissenschaftliche Chemie gibt«, schrieb der Atomphysiker Arnold Sommerfeld 1919 in seinem Buch *Atombau und Spektrallinien*, das damals als die »Bibel des modernen Physikers« galt. Sommerfeld war es auch, der das Bohr'sche Atommodell in das Deutsche Museum brachte, wo es nicht in der Physik-, sondern in der Chemieabteilung zu einem Ausstellungsstück wurde. In dieser

Ausstellung spiegelt sich sowohl die rasante Entwicklung der Atomtheorie als auch die nicht weniger turbulente Geschichte musealer Exponate wider.

In der Frühgeschichte des Deutschen Museums waren Atome verpönt. Wäre das Deutsche Museum Anfang des 19. und nicht erst im 20. Jahrhundert gegründet worden, dann hätte man es durchaus verständlich finden können, dass man von Atomen nichts wissen wollte. Als John Dalton 1808 aus chemischen Verbindungen das »Gesetz der multiplen Pro-

Bild oben: In diesem von Sommerfeld entworfenen Modell eines Wasserstoffatoms werden die Kräfte dargestellt, mit denen ein den Atomkern umkreisendes Elektron auf seiner Bahn gehalten wird.



portionen« herauslas und darauf die Hypothese vom atomaren Aufbau der Materie gründete, da war dies kaum mehr als eine Hypothese. Aber hundert Jahre später, als das Deutsche Museum gegründet wurde, da zeigte sich die Spur der Atome in so vielen Experimenten, dass an der Atomhypothese eigentlich kein Zweifel mehr möglich war. Die Betonung liegt auf dem Wort »eigentlich«, denn die maßgebliche Autorität, die im Auftrag des Museumsgründers Oskar von Miller den Aufbau der Chemieabteilung plante, war Wilhelm Ostwald, ein erklärter Gegner des Atomismus. In den fünf Ausstellungssälen, die das 1906 noch provisorische Deutsche Museum im Alten Nationalmuseum der »wissenschaftlichen Chemie« widmete, war von Atomen keine Rede.

Man hätte sich aber schon im Alten Nationalmuseum eine Vitrine mit Atommodellen vorstellen können, in der zum Beispiel das 1903 von Joseph John Thomson erdachte Atommodell zu sehen gewesen wäre, bei dem Elektronen wie die Rosinen in einem Kuchen in einem gleichmäßig verteilten Brei einer positiv geladenen Kernmasse verteilt sind. »Nur über meine Leiche«, so hätte Ostwald wohl auf ein solches Ansinnen reagiert. Schon das von Lothar Meyer und Dmitri Mendelejew 1869 aufgestellte Periodensystem der chemischen Elemente galt ihm als zu sehr von Atomhypothesen durchtränkt, als dass er dies in einem Museum ausstellen wollte. Wie Ostwalds Biografen berichten, gab er erst 1909 zu, »dass wir seit kurzer Zeit in den Besitz der experimentellen Nachweise für die diskrete oder körnige Natur der Stoffe gelangt sind«. Erst als die Chemieabteilung des Deutschen Museums auf der Isarinsel 1925 eröffnet wurde, bekamen die Besucher das Periodensystem der Elemente zu Gesicht.

Da war Ostwald längst nicht mehr der maßgebliche Gestalter. »Der letzte (inzwischen bekehrte) Gegner der Atome war der geistreiche Energetiker Wilhelm Ostwald«, schrieb Sommerfeld 1919 im ersten Kapitel von *Atombau und Spektrallinien*. »Heutzutage sind die Einwände gegen die Atomistik verstummt angesichts ihrer schlagenden Erfolge auf allen Gebieten der physikalischen Erkenntnis.« Ein Jahr zuvor, am 28. Januar 1918, hatte ihm Oskar von Miller seine Absicht mitgeteilt, »in unserem Museumsgebäude die neueren Theorien über die Zusammensetzung und den Aufbau der chemischen Elemente und ihre Beziehungen der letzteren zu ersteren durch Tafeln mit Texten, Zeichnungen evtl. auch

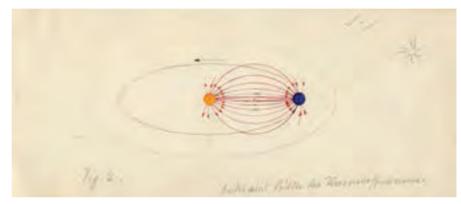


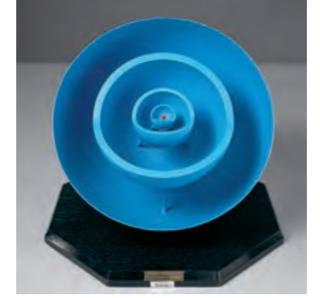
Bild oben: Skizze aus
Sommerfelds Entwurf für das
Wasserstoffatom. Es sollte
angedeutet werden, dass
das blau dargestellte
Elektron den Atomkern auf
verschiedenen Bahnen
umkreisen kann.
Ein Museumsmodell wurde
dazu jedoch nicht angefertigt.

Bild unten: Die Skizze diente als Vorlage für das letztendlich hergestellte Modell im Bild links. durch Modelle zur Darstellung zu bringen«. Der Museumsgründer erbat sich von Sommerfeld eine »Meinungsäußerung, in welcher Weise diese Darstellung am besten erfolgen könnte«.

#### Warum Sommerfeld?

Was bewog Oskar von Miller dazu, sich an den Physiker Sommerfeld zu wenden, und nicht an einen Chemiker, wo es ihm doch um »die neueren Theorien über die Zusammensetzung und den Aufbau der chemischen Elemente« ging?

Sommerfeld war 1906 auf den Lehrstuhl für theoretische Physik an die LMU nach München berufen worden. Bereits durch diese Berufung kam Sommerfeld in Kontakt zu Oskar von Miller, denn mit seiner Professur war die Stelle eines Konservators der mathematisch-physikalischen Sammlung des Staates verbunden - und diese Sammlung war kurz vor seinem Amtsantritt dem Deutschen Museum übereignet worden. 1912 war auf Veranlassung von Max Laue (seit 1913 Max von Laue), der als Privatdozent am Sommerfeld'schen Institut lehrte und forschte, ein Experiment über die Beugung von Röntgenstrahlen an Kristallen durchgeführt worden, das den atomaren Aufbau der Materie bewies und die Bestimmung von Kristallstrukturen zu einer neuen Wissenschaftsdisziplin machte. Laue wurde dafür im Jahr 1914 der Nobelpreis zuerkannt. Im selben Jahr sorgte Oskar von Miller dafür, dass Sommerfeld Mitglied des Vorstandsrats des Deutschen Museums - und damit in sein Netzwerk von Ratgebern und potenziellen Spendern eingebunden wurde. Um dieselbe Zeit machte sich Sommerfeld auch einen Namen als Atomtheoretiker. Er lud Bohr ein, das gerade ersonnene



1928 wurde dieses Modell nach Angaben Sommerfelds hergestellt. Es soll die in Kugelschalen angeordneten Elektronen in einem Eisenatom im energetischen Grundzustand veranschaulichen. Die Berechnungen dafür beruhten auf der Quantenmechanik.

Atommodell in seinem Kolloquium vorzustellen. 1915 erweiterte Sommerfeld die Bohr'sche Atomtheorie. Noch im Ersten Weltkrieg begann er, auch populäre Vorlesungen über »Atomistik« zu halten. »Letzten Montag«, so schrieb Sommerfeld am 24. Oktober 1917 an einen Kollegen, habe er »über die Atommodelle im polytechnischen Verein in Gegenwart des Königs« einen Vortrag gehalten.

Dass Oskar von Miller den Atomphysiker bei der Neugestaltung der Chemieabteilung seines Museums auf der Isarinsel um Rat fragte, war also kein Zufall. Umgekehrt kam die Möglichkeit, bei der musealen Gestaltung mitzuwirken, auch Sommerfeld sehr gelegen. Denn die Popularisierung der Bohr'schen Atomtheorie war 1918 - im letzten Jahr des Ersten Weltkriegs – für ihn mehr als nur eine Begleiterscheinung seiner wissenschaftlichen Tätigkeit. Er sei, schrieb Sommerfeld im Vorwort von Atombau und Spektrallinien, »von Studierenden und Kollegen, von Physikern, Chemikern und Biologen, bei Hochschulkursen an der Front und von Seiten der Technik« immer wieder gebeten worden, die neuen Erkenntnisse über den atomaren Aufbau der Materie verständlich darzustellen. Er stellte sogar die eigenen Forschungsergebnisse hintan, wenn sie der Anschaulichkeit im Weg standen. »Meine Darstellung wünscht gemeinverständlich zu sein. Ich habe daher den Gebrauch der Mathematik so sehr als möglich zurückgedrängt«, so umschrieb er den Vorrang populärer Verständlichkeit. Außerdem wollte er herausstellen, dass mit der Bohr'schen Atomtheorie auch ein neues Verständnis für die Spektralanalyse ermöglicht wurde. »Was wir heutzutage aus der Sprache der Spektren heraus hören, ist eine wirkliche Sphärenmusik des Atoms, ein Zusammenklingen ganzzahliger Verhältnisse, eine bei aller Mannigfaltigkeit zunehmende Ordnung und Harmonie. Für alle Zeiten wird die Theorie der Spektrallinien den Namen Bohrs tragen.« Bevor Sommerfeld dies in seinem Buch in aller Breite darlegte, gab er im Januar 1918 bei Vorlesungen vor Soldaten an der Westfront Kostproben solcher »Friedensphysik«, wie er seiner Frau aus Belgien schrieb. In München kündigte er für das Sommersemester 1918 eine populäre Vorlesung über »Atomistik« an.

#### Die Konzeption für den Saal »Bau der Materie«

Als Sommerfeld daher die Anfrage des Museumsgründers erhielt, antwortete er ohne langes Zögern, dass er »gerne« an



Eine Seite aus Sommerfelds Entwurf für die Gestaltung des Raums »Bau der Materie«. Es ging dabei auch um die mit den Atommodellen erklärten Atomspektren (oben die Balmerserie des Wasserstoffs) und die möglichen Anordnungen von Atomen in Molekülen.

der musealen Darstellung des Atombaus mitwirken werde, »und zwar am liebsten in Gemeinschaft mit meinem Kollegen Prof. Fajans, dem Vertreter der Radioaktivität an unserer Universität.« Kasimir Fajans hatte nach einem Studium der Chemie das neue Gebiet der Radioaktivitätsforschung zu seinem Arbeitsgebiet gemacht. Er hatte wie Bohr einen Studienaufenthalt bei Rutherford in Manchester zugebracht, bevor er 1913 in Karlsruhe Privatdozent und 1917 Professor für physikalische Chemie an der Ludwig-Maximilians-Universität in München wurde.

Am 4. Februar 1918 trafen sich Sommerfeld und Fajans mit Oskar von Miller im Alten Nationalmuseum und unterbreiteten ihm ihre Vorstellungen. Von Miller war davon sofort begeistert. »Ihrer Anregung entsprechend werden wir in unserer chemischen Abteilung eine Untergruppe >Struktur der Materie« errichten«, schrieb er am 5. Februar an Som-

merfeld, und erbat sich dafür auch gleich detaillierte Angaben für die räumliche Ausgestaltung. Sommerfeld muss dabei auch schon das Bohr'sche Atommodell als besonderes Exponat vorgeschlagen haben, denn der Museumsgründer bat ihn, ihm »die zeichnerische Unterlage zur Herstellung eines dekorativen Modells zur Darstellung des Aufbaus eines Wasserstoffatoms oder -moleküls zukommen zu lassen«.

Die Planungen gingen trotz des Weltkriegs zügig voran. Am 5. März 1918 machte Sommerfeld Vorschläge für einen »Elementen-Schrank« und deutete an, wie man das Bohr' sche Modell des Wasserstoffatoms als Exponat darstellen könnte. Der Atomkern sollte durch eine rote oder gelbe Kugel dargestellt werden, das Elektron blau, und beide sollten »mit Kraftlinien versehen« werden, um die elektrische Anziehung anzudeuten. Er erläuterte dies mit einer Skizze. »Das Elektron kreist auf einer Kreisbahn, die durch einen Pfeil als solche bezeichnet ist. Andere mögliche Bahnen sind mit Bleistift gezeichnet (in der Ausführung etwa als Draht mit bunter Lasur herzustellen).« Als Alternative deutete er mit einer zweiten Skizze an, dass auch die Elektronenbewegung auf unterschiedlich geneigten Bahnen dargestellt werden könnte. »In Wirklichkeit«, so fügte er hinzu, »läuft auch der Kern auf einem (verhältnismäßig sehr kleinen) Kreise, der mit dem Bahnkreis des Elektrons konzentrisch ist. Man könnte auch diesen darstellen.« Am Ende müsse aber »der Künstler« die Entscheidung treffen, welche Variante verwirklicht werden sollte. »Ich gebe ohne Weiteres zu, dass meine Vorschläge künstlerisch etwas dürftig ausgefallen sind.«

Eine Woche später, am 13. März 1918, lieferte Sommerfeld seine Vorschläge für die gesamte Raumaufteilung. Man könne sich eine Gliederung nach sechs Gruppen vorstellen: »I. Natürliches System der Elemente, II. Radioaktive Elemente, III. Strukturchemie, IV. Kristallstruktur, V. Spektren, VI. Röntgenspektren.« Er hatte sich darüber auch mit Fajans beraten. Für die Strukturchemie wollte er »Kollegen Willstätter« hinzuziehen. Richard Willstätter hatte 1915 den Chemie-Nobelpreis erhalten und war im gleichen Jahr nach München berufen worden. Er gehörte ebenfalls zum Netzwerk externer Ratgeber des Deutschen Museums. Angesichts der geballten wissenschaftlichen Reputation der drei Münchner Universitätsprofessoren konnte Oskar von Miller die weitere Planung dem für die Chemieabteilung zuständigen Museumskurator

Arnim Süssenguth überlassen. Wie Sommerfeld am 7. April 1918 an Oskar von Miller schrieb, wollte er, dass ihn »Herr Dr. Süssenguth in der Universität aufsucht, nach telephonischer Verabredung, damit ich zu meiner Orientierung mit ihm die mir zugesandten Pläne und die Platzfrage besprechen kann; dies würde für meine weiteren Vorschläge eine wesentliche Erleichterung und eine geeignete Vorbereitung sein.«

Ein Teil der Planungen entzieht sich also der historischen Forschung, da sie bei persönlichen Treffen in der Universität oder telefonisch vereinbart wurden. Den erhaltenen Quellen zufolge verliefen sie jedoch ohne Schwierigkeiten. Nicht einmal die turbulenten Verhältnisse nach dem Kriegsende, als Kurt Eisner in München die Revolution ausrief und Bayern zum Freistaat machte, hinterließen einen Niederschlag in den erhaltenen Quellen. »Anbei die besprochenen Erläuterungen«, schrieb Sommerfeld am 5. Dezember 1918 an Süssenguth. »Ich nehme an, dass Sie diese zunächst mit Exzellenz von Miller durchsprechen und ihre Verteilung auf den betreffenden Tafeln projektieren werden, worauf wir dann nochmals darüber sprechen können [...] Bitte mich anzutelephonieren, wenn etwas anzufragen ist.« Die Anlage bestand aus den Zeichnungen für die Gestaltung des Bohr'schen Modells des Wasserstoffatoms und zehn Seiten mit »Erläuterungen« für die Texttafeln im Raum »Bau der Materie«.

#### **Vom Konzept zur Ausstellung**

Danach war für Sommerfeld und seine Chemikerkollegen Fajans und Willstätter die Arbeit im Wesentlichen getan. Die weitere Entwicklung wurde durch die Bauarbeiten auf der Isarinsel bestimmt. Obwohl der Neubau schon 1914 weitgehend fertiggestellt war, hatten sich die Hoffnungen, das Museum bald nach dem Ende des Krieges zu eröffnen, »nicht erfüllt«, wie Oskar von Miller im ersten Verwaltungsbericht des Deutschen Museums nach dem Krieg im Jahr 1921 zu Protokoll gab. Baumaterialien waren jetzt »ebenso schwer zu bekommen als während des Krieges und die Preise für dieselben erreichten eine Höhe, die wir nicht hätten bezahlen können, weil uns die Mittel für den Fortbau des Museums fehlten [...] Ich glaube, dass diejenigen, die den Museumsneubau auch nur in seinem jetzigen unvollendeten Zustande

#### Zum Weiterlesen

Michael Eckert, Arnold Sommerfeld. Atomphysiker und Kulturbote 1868-1951. Eine Biografie, 2013.

Michael Eckert, »Atommodelle und Museumspolitik im Nationalsozialismus.« In: Elisabeth Vaupel, Stefan L. Wolff (Hg.), Das Deutsche Museum in der Zeit des Nationalsozialismus, 2010. S. 473-496.

Michael Eckert, »Die Deutsche Physik und das Deutsche Museum«, In: Physikalische Blätter 41, 1985, S. 87-92.

Wilhelm Füßl, Oskar von Miller 1855 - 1934: eine Biographie, 2005.

Conrad Matschoss. Das Deutsche Museum. Geschichte, Aufgaben, Ziele, 1925.

Elisabeth Vaupel, »Zwischen Weltjahrmarkt und Wissenspopularisierung. Die Frühgeschichte der Chemieabteilung«, In: Wilhelm Füßl, Helmuth Trischler (Hg.): Geschichte des Deutschen Museums. Akteure, Artefakte, Ausstellungen, 2003, S. 255-288.



Arnold Sommerfeld (mit Zigarre) und Niels Bohr im Jahr 1919 bei einem Treffen in Lund.

sehen, doch zu der Überzeugung kommen müssen: So darf das Deutsche Museum nicht stehen bleiben, es muss vollendet werden.«

Die Appelle des Museumsgründers verhallten nicht ungehört. Im nächsten Verwaltungsbericht aus dem Jahr 1923 wurde mitgeteilt, dass das provisorische Museum geschlossen worden sei. Damit gehörte auch die Ära der atomlosen Chemie im Deutschen Museum der Vergangenheit an. Bis Oktober 1923 seien im Neubau auf der Isarinsel »ausgebaut und eingerichtet die Ausstellungsräume für folgende Museumsgruppen: Astronomie, Geodäsie, Mathematik mit einem Teil der Physik, Chemie, Textil-Industrie, Papier-Industrie, Reproduktionstechnik, Landwirtschaft, Brauerei und Brennerei, Luftschiffahrt und Bergwesen«. Einzelne Bereiche wolle man in Kürze »teilweise zugänglich zu machen - namentlich für diejenigen Personen und Körperschaften, von welchen eine besondere Förderung des Museums zu erwarten ist«. Die Räume könnten jedoch noch nicht für den allgemeinen Besuch geöffnet werden, »weil bei der großen Anzahl der im Bau beschäftigten Arbeiter eine Störung der Arbeiten und eine Beschädigung der Museums-Objekte zu befürchten wäre«. Die allgemeine Eröffnung sei »im Frühjahr 1925« geplant.

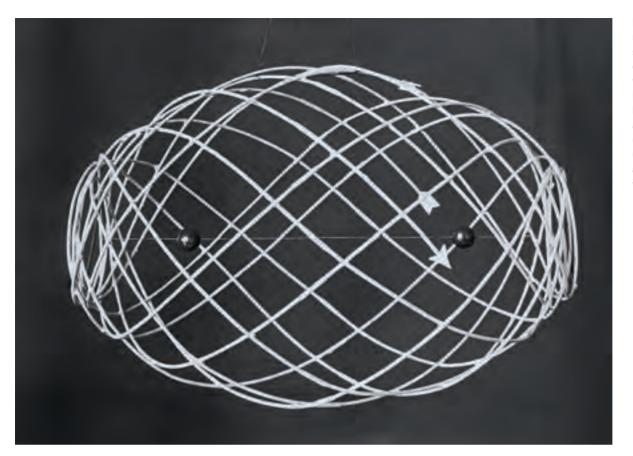
Als das Museum dann 1925 planmäßig für die Allgemeinheit eröffnet wurde, übernahm es Willstätter, in der zu diesem Anlass herausgegebenen Festschrift die neue Chemieabteilung vorzustellen. Nun erinnerte nichts mehr an die antiatomare Ausrichtung der von Ostwald konzipierten Vorgängerabteilung. »Wandert der Besucher von den

Arbeitstischen der Lavoisier-Periode durch die folgenden Räume, so findet er in übersichtlichen graphischen Darstellungen und in Modellen (Aufbau der Materie) die Anschauungen in gemeinverständlicher Weise erklärt, die für die Entwicklung der wissenschaftlichen Chemie im vorigen Jahrhundert wegleitend waren: die Atomtheorie von Dalton, die Molekularlehre von Avogadro, die Valenzanschauungen von Kekulé und die Stereochemie von van't Hoff. Vor diesen Tafeln soll der Besucher verweilen. Er wird lernen, wie die Chemie die Zusammensetzung der Verbindungen erklärt, deren kleinste Teilchen, die Moleküle, aus verschiedenen Bausteinen zusammengesetzt sind, nämlich aus den kleinsten Mengen der beteiligten elementaren Stoffe, den Atomen.« Der Museumsführer aus dem Jahr 1925 ging noch mehr ins Detail. »Eine größere Tafel gibt Aufschluss über die Erkenntnis des Atombaues aus den Lichtspektren; dazu Abbildungen der Spektren der Elemente Wasserstoff, Helium [...] Modelle des Wasserstoff-Atoms und des Wasserstoffmoleküls sind auf Grund der Theorien von Rutherford und Bohr ausgeführt«.

#### **Anpassungen**

In den sieben Jahren, die seit der Konzeption für den Raum »Bau der Materie« und der Eröffnung des Museums auf der Isarinsel vergangen waren, hatte sich die Atomtheorie rasant weiterentwickelt. Sommerfelds Atombau und Spektrallinien erschien 1924 in vierter Auflage – und war von ursprünglich 550 Seiten auf einen Umfang von 826 Seiten angewachsen. Niels Bohr hatte 1921 seinem Modell des Wasserstoffatoms aus dem Jahr 1913 eine Theorie über den Aufbau der Atome im Periodensystem folgen lassen, die als »Bohrs zweite Atomtheorie« in die Wissenschaftsgeschichte einging. Sommerfeld hatte in demselben Jahr die Berechnung der Elektronenbewegung im Wasserstoffmolekül-Ion nach dem Vorbild der Himmelsmechanik zum Thema einer Doktorarbeit gemacht. Das schien ihm auch für eine museale Präsentation im Museum geeignet. Er konzipierte ein Modell, bei dem die Elektronenbahn durch einen Draht dargestellt werden sollte, der auf der Oberfläche eines unsichtbaren Ellipsoids um die beiden Wasserstoffatomkerne herumgeführt wird.

Süssenguth hätte sich für den Raum »Bau der Materie« gerne noch weitere Atommodelle gewünscht, doch Sommerfeld bremste die hochgeschraubten Erwartungen. »Selbst



Modell eines Wasserstoffmolekül-lons (zwei Wasserstoffatomkerne, die von
einem Elektron umkurvt
werden). Die Bahn des
Elektrons wird durch einen
Draht dargestellt, der
auf der Oberfläche eines
unsichtbaren Ellipsoids
um die beiden Wasserstoffatomkerne herumgeführt

über das Helium-Modell sind die Meinungen noch sehr geteilt«, schrieb er im Januar 1924 an das Deutsche Museum. »Was ich Dr. Süssenguth im Oktober letzten Jahres sagte, war nur, dass wir demnächst soweit sein werden, Atommodelle anzufertigen, während ich dies vor 2 Jahren noch ganz ablehnen musste.«

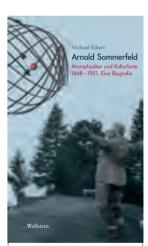
Mit der kurz darauf entwickelten Quantenmechanik erschien Sommerfeld das Wissen um den Atombau der Elemente so weit gefestigt, dass er für das Museum Modelle eines Gold- und eines Eisenatoms entwarf, bei denen sich die Atome in ihrem energetischen Grundzustand befanden. Nach der Quantenmechanik sollte dies zu einer kugelsymmetrischen Gestalt der Elektronenhülle führen. Die Berechnungen dafür waren Gegenstand einer anderen Doktorarbeit im Sommerfeld'schen Institut.

Es dauerte nicht lange, bis diese Anpassungen an den jeweils aktuellen Stand der Atomtheorie Anstoß erregten. Zuerst wurde der Unmut über die Atommodelle von einem Ingenieur namens August Nenning geäußert, der neben den nach der Theorie von Bohr und Sommerfeld gefertigten Modellen seine eigenen Atommodelle im Museum ausgestellt sehen wollte, die er auf der Grundlage seines 1923 veröffentlichten Werkes *Kosmische Dynamik* konzipiert hatte. Oskar von Miller wies dieses immer wieder vorgebrachte Ansinnen 1932 mit der Bemerkung ab, dass im Deutschen Museum »nur Objekte aufgestellt werden, deren Bedeutung für die Naturwissenschaft und Technik bereits erwiesen ist. Da maßgebende Männer der Wissenschaft uns eine derartige Bestätigung bezüglich Ihrer Atom-Modelle nicht geben konnten,

ist es uns, wie wir Ihnen bereits früher mitgeteilt haben, nicht möglich, Ihre Arbeiten in den Sammlungen zur Aufstellung zu bringen.«

Nach der »Machtergreifung« der Nationalsozialisten geriet die Angelegenheit zum Politikum. 1937 erregten die Sommerfeld'schen Atommodelle bei einem Museumsbesuch die Aufmerksamkeit von Johannes Stark, der neben Philipp Lenard der Wortführer einer »Deutschen Physik« war und die moderne Atomtheorie als »jüdische Physik« bekämpfte. Im Museum kam man einer absehbaren Polemik Starks zuvor, indem man die Sommerfeld'schen Modelle und Schrifttafeln entfernte und an die Stelle der Atommodelle eine Hochvakuumapparatur setzte, die zu der ohnehin geplanten, stärker industriell ausgerichteten Neugestaltung der Chemieabteilung passte.

Die meisten der im Raum »Bau der Materie« ausgestellten Exponate dürften den Zerstörungen des Zweiten Weltkriegs und späteren Neugestaltungen der Chemieabteilung zum Opfer gefallen sein. Von den Modellen des Wasserstoffatoms und des Wasserstoffmolekül-Ions existieren nur noch Fotografien. Die quantenmechanischen Modelle des Eisen- und Goldatoms haben im Depot den Krieg überdauert. Das Modell des Goldatoms ist heute wieder ausgestellt – aber nicht als Exponat über Atombau in der Chemieabteilung, sondern in einer 2003 eröffneten Ausstellung über die Museumsgeschichte.



#### Neu erschienen:

Michael Eckert

Arnold Sommerfeld

Atomphysiker und

Kulturbote 1868-1951.

Eine Biografie

Deutsches Museum.
Abhandlungen und Berichte – Neue Folge
(Hg. vom Deutschen
Museum); Bd. 29

ISBN: 978-3-8353-1206-7 (2013)



### 75 Jahre Kernspaltung

Der »Otto-Hahn-Tisch« ist eines der bekanntesten Objekte des Deutschen Museums.

Auf einem Holztisch sind Gerätschaften arrangiert, mit denen vor 75 Jahren zum ersten Mal nachweislich eine Spaltung von Atomkernen durchgeführt wurde. von Susanne Rehn

mmer mehr kommen wir zu dem schrecklichen Schluss: Unsere Radium-Isotope verhalten sich nicht wie Radium, sondern wie Barium. [...] Falls Du irgendetwas vorschlagen könntest, dann wäre es doch noch eine Art Arbeit zu Dreien!« So schrieb Otto Hahn ratsuchend kurz vor Weihnachten 1938 an Lise Meitner. Das Bohr'sche Atommodell hatte fünfundzwanzig Jahre zuvor geholfen, die Welt der Atome aufzuklären. Die Ergebnisse der Versuche von Hahn, Meitner und Fritz Straßmann waren zunächst nicht zu erklären, bis ein ebenfalls von Bohr erdachtes Modell des Atomkerns die Lösung bot.

Seit den 1890er Jahren wurde das Bild vom Atom immer genauer (siehe Grafik Seite 24-25). Dass sich Atomkerne durch radioaktiven Zerfall verändern und damit chemische Elemente ineinander übergehen, war bekannt. Ab den 1920er Jahren versuchten verschiedene Arbeitsgruppen, dies auch auf künstlichem Weg zu erreichen. Ein besonders wichtiger Meilenstein war 1932 die Entdeckung des Neutrons. Da positiv geladene Alphateilchen vom ebenfalls positiven Atomkern abgestoßen wurden, sollte das ungeladene Neutron besser in den Atomkern eindringen können. Bohr sprach von einer denkbaren »Explosion« oder auch einem »Zerbrechen«

von Atomkernen. Er formulierte eine Vorstellung des Kerns, nach der dieser sich ähnlich wie ein großer Wassertropfen verhält.

Enrico Fermi bestrahlte verschiedene Elemente mit Neutronen und hoffte, durch Neutroneneinfang und anschließenden Beta-Zerfall Elemente zu erhalten, die um eine Ordnungszahl höher sind als die Ausgangsmaterialien. Interessant wurde das beim Uran, nach damaligem Kenntnisstand das schwerste chemische Element. Würde dies wie erhofft reagieren, sollten schwerere Elemente, Transurane, entstehen. Lise Meitner fand die Ergebnisse so faszinierend, dass sie 1934 Otto Hahn überredete, schwere Atomkerne, namentlich Uran und Thorium, mit Neutronen zu beschießen, um Transurane zu erhalten.

Zusammen mit dem Chemiker Fritz Straßmann führten Meitner und Hahn folgende Versuche durch: Eine Probe aus gereinigtem Uran brachte man in einen Paraffinblock ein, daneben eine Neutronenquelle aus Beryllium und Radium. Nach unterschiedlichen Bestrahlungszeiten wurde die Uranprobe entnommen und chemisch analysiert. Nach Lösen in Salzsäure fügte man einen dem vermuteten Produkt ähnlichen Stoff zu, der gemeinsam mit dem Reaktionsprodukt aus





der Lösung auskristallisieren sollte. Uran verblieb in der Lösung. Danach wurden die Filtrate getrocknet, die Filterpapiere in die zylindrische Mulde eines Bleiblocks eingeklebt und der Geiger-Müller-Zähler darauf gelegt. Das Zählrohr bestand aus einem Aluminiumzylinder, gefüllt mit einem speziellen Argon-Gasgemisch und einem Draht im Zentrum. Starke Batterien setzten den Draht unter Spannung.

Ein aus der radioaktiven Probe entweichendes negatives Betateilchen wurde zum Draht hin beschleunigt und bewirkte über eine Kaskade von Ionisierungen einen elektrischen Impuls. Dieser wurde verstärkt und von einem mechanischen Zählwerk angezeigt. Durch Auftragen der Zählimpulse gegen die Zeit erhielt man die Zerfallsraten der Reaktionsprodukte.

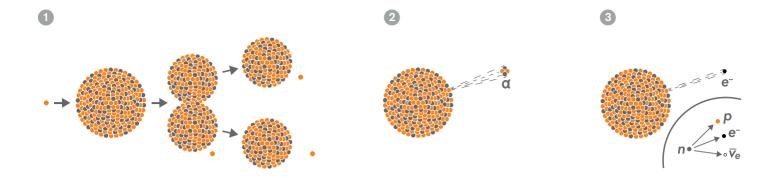
#### Festhalten an alten Theorien

Das Team fand in der Tat Betastrahler und schloss daraus, dass Transurane mit den Ordnungszahlen 93–96 entstanden waren, deren chemische Eigenschaften den Erwartungen entsprachen. Trotz der unwahrscheinlich langen Reihe aus Beta-Zerfällen wurde die Annahme, neue chemische Elemente erhalten zu haben, von keiner Seite angezweifelt. Auch ein 1937 von Irène Joliot-Curie und ihrem Kollegen Paul Savitch bei ähnlichen Versuchen gefundener Körper mit einer Halbwertszeit von 3,5 Stunden weckte das Interesse. Die Autoren diskutierten verschiedene Erklärungen. Leichtere Elemente waren dabei ebenso im Gespräch wie Transurane. Hahn und Meitner verfolgten diese Versuche sehr aufmerksam.

Es war Sommer 1938. An diesem spannenden Punkt war Lise Meitner als österreichische Jüdin durch den »Anschluss« Österreichs an Deutschland plötzlich von der Verfolgung durch die Nationalsozialisten bedroht. Am 13.7.1938 flüchtete sie mit der Hilfe Otto Hahns aus Deutschland. Ihre ProOtto Hahn und Lise Meitner kannten sich seit 1907. Ende der dreißiger Jahre leitete Hahn als Direktor des Berliner Kaiser-Wilhelm-Instituts für Chemie die Abteilung für Radiochemie. Lise Meitner stand der radiophysikalischen Abteilung vor. Die Zusammenarbeit der Physikerin mit dem Chemiker muss außerordentlich fruchtbar und von großer Freundschaft geprägt gewesen sein. Hahn beschrieb es 1963 als »Glückszufall«, Lise Meitner getroffen zu haben.

minenz schützte sie auf der Flucht in keiner Weise: Die Grenze konnte sie nur passieren, weil sie glücklicherweise nicht in eine der regelmäßigen SS-Kontrollen im Zug geraten war. Otto Hahn schrieb später: »Ich werde den 13. Juli 1938 nie vergessen«. »Hähnchen« und »Lieschen«, wie die beiden sich der Legende nach genannt haben sollen, blieben in intensivem brieflichen Kontakt. Die Ergebnisse der nächsten Versuche in Berlin wiesen zunächst auf Radium hin, das durch zwei aufeinanderfolgende Alpha-Zerfälle aus Uran entstanden sein könnte. Dies war vorher niemals beobachtet worden und viele, unter anderem Niels Bohr, gaben sich skeptisch. Heute scheint es, als hätten Physiker wie Chemiker zu lange an ihren damals geltenden Theorien festgehalten.

Hahn und Straßmann versuchten, das Radium mittels des Verfahrens der fraktionierten Kristallisation nachzuweisen. Dazu gaben sie der Uranlösung zunächst Bariumsalze zu, die das Radium aus der Lösung mitreißen sollten. Der Niederschlag wurde abfiltriert und wieder gelöst. Um Radium von Barium zu trennen, erhitzten sie die Lösung und versetzten sie zunächst mit Säure, bis ein Teil wieder auskristallisierte. Dieser Niederschlag wurde abfiltriert. Aus der Lösung kristallisierte erneut eine Substanz aus, die ebenfalls abfiltriert wurde. Der Vorgang wurde drei Mal wiederholt. So erhielt man zunächst eine Kopffraktion, in der die schwerer löslichen Radiumverbindungen angereichert sein sollten, und zum Ende hin die Schwanzfraktion mit den Bariumverbindungen. All diese Fraktionen wurden hinsichtlich ihrer Radioaktivität gemessen. Beim Vorliegen unterschiedlicher Strahler sollten sich die Aktivitäten der einzelnen Fraktionen deutlich unterscheiden. Hahn und Straßmann stellten jedoch fest: Es gab keine Unterschiede in den Aktivitäten der einzelnen Fraktionen. Es hatte also offenbar keine chemische Trennung stattgefunden.



Zur Überprüfung führten sie die fraktionierte Kristallisation auch mit Radium durch. Es war ja durchaus denkbar, dass sich Radium in so kleinen Mengen anders verhielt. Und der berühmte Indikatorversuch sollte letzte Klarheit bringen: Sie bestrahlten eine Uranprobe, mischten diese mit einer Radiumprobe und führten die fraktionierte Kristallisation mit dieser Mischung durch. In all diesen Versuchsreihen stellten sie fest, dass die Unterschiede der Aktivität der einzelnen Fraktionen nur auf das, wie Otto Hahn meinte, »ehrliche« Radium zurückzuführen war. Das künstliche Radium zeigte eine gleichbleibende Aktivität über alle Fraktionen, es hatte sich also nicht von Barium abtrennen lassen. Diese Ergebnisse ließen Hahn und Straßmann zunächst ratlos zurück.

Am 19. Dezember 1938 bat Otto Hahn Lise Meitner um eine Erklärung, weil er ja wusste, »dass es [das Uran] nicht in Barium zerplatzen kann«. Die Ansicht, dass Meitner nach wie vor zum Team gehörte, äußerte er in dem eingangs zitierten Wunsch, dass die Ergebnisse doch noch eine Arbeit der Dreiergruppe sein mögen. Meitner war zunächst skeptisch und fragte sehr kritisch nach, ob wirklich alle anderen Möglichkeiten ausgeschlossen worden seien. Zu Weihnachten 1938 hielt sie sich mit ihrem Neffen Otto Frisch im schwedischen Kungälv auf. Im Schnee spazierend wagten die beiden eine revolutionäre Interpretation der Versuche: Analog zum Bohr'schen Tröpfchenmodell kam der Urankern beim Eindringen eines Neutrons in Bewegung. Es erfolgte eine Einschnürung und schließlich Trennung in zwei etwa gleich große Fragmente, die jeweils viel kleiner wären als der Urankern selbst. Damit wäre eine Erklärung für das leichte Barium gefunden. Die Bruchstücke stießen sich ab und flogen mit hoher kinetischer Energie auseinander. Frisch wurde die Ehre zuteil, dem neuen Prozess seinen Namen zu geben: fission - Kernspaltung. Am Neujahrstag unterrichtete Lise Meitner Otto Hahn: "Vielleicht ist es energetisch doch möglich, dass ein so schwerer Kern zerplatzt."

Meitners Gefühle schwankten zwischen Frustration und Aufregung. Ihr gesamtes Leben war umgekrempelt, die offenbar bedeutendste Entdeckung hatte sie verpasst und ihre eigene Arbeit über die Transurane war hinfällig geworden. Hahn und Meitner sprachen in ihren Briefen offen darüber. Hahn schrieb: »Wie schön und aufregend wäre es jetzt gewesen, wenn wir unsere Arbeiten wie früher gemeinsam hätten

machen können.« Aus Meitners Antwort konnte man die Befürchtung lesen, dass ihre Beteiligung an der Entdeckung nicht ausreichend gewürdigt werden könnte. Und Hahn antwortete umgehend: »Es erschüttert mich, Dich so deprimiert zu sehen.«

#### Manipulation am Kern

Am 6. Januar 1939 erschien die erste Veröffentlichung der neuartigen Ergebnisse von Hahn und Straßmann. Die Interpretation gipfelte in dem berühmten Satz: »Als Chemiker müssten wir eigentlich sagen, bei den neuen Körpern handelt es sich nicht um Radium, sondern um Barium.« Und die nächste große Veröffentlichung von Hahn und Straßmann vom 10. Februar 1939 ließ sich durchaus als »Arbeit von uns dreien« lesen. Die Autoren berichteten mit absoluter Sicherheit, bei all den bisher vermuteten Radium-Isotopen handele es sich in Wahrheit um Barium-Isotope. Die früheren Publikationen des Dreierteams und Lise Meitners Name wurden mehrfach erwähnt, außerdem wiesen Hahn und Straßmann auf die Transurane hin: »Wir sind deshalb jetzt wieder der Meinung, dass die >Transurane \ bestehen bleiben. « Bei dem zweiten Spaltprodukt handele es sich eindeutig um ein Edelgas, entweder Krypton oder Xenon. Die Publikation schloss mit der Aussage, dass die Feststellung der neuen Umwandlungsprodukte »nur möglich [war] durch die Erfahrung, die wir bei den früheren, in Gemeinschaft mit L. Meitner durchgeführten systematischen Versuchen über die Transurane [...] sammeln konnten«.

In einem *Nature*-Artikel vom 11. Februar 1939 von Meitner und Frisch wurde die richtige Prognose des anderen Spaltproduktes gegeben: Zieht man von der Kernladungszahl des Urans (95) die des Bariums (56) ab, verbleibt 36, also Krypton. In dieser Arbeit wurde auch explizit wieder die Existenz der Transurane betont. Später lieferten Frisch und Meitner konkrete Angaben über die bei der Reaktion freiwerdende Energie.

Nach diesen Veröffentlichungen fingen verschiedene Arbeitsgruppen unverzüglich an, die Versuche zu wiederholen, zu bestätigen und weiterzuführen. Frédéric Joliot-Curie erkannte, dass bei der Spaltreaktion freie Neutronen entstehen. Diese konnten weitere Uranatome spalten, eine Kettenreaktion war denkbar. Dafür interessierte sich bald die ganze Welt.



Kernspaltung: Das Ergebnis des Spaltungsversuchs 1938 war zunächst schwer zu deuten: Durch den Beschuss von Uranatomen mit Neutronen wurden die Atomkerne nahezu in zwei Hälften gespalten. Dabei waren Atomkerne von Elementen entstanden, die im Periodensystem an ganz anderer Stelle stehen: Barium und Krypton. Bei dieser Spaltung entstehen wiederum freie Neutronen, die weitere Spaltungsprozesse anstoßen können.



Alphazerfall: Ein Atomkern emittiert zwei Protonen und zwei Neutronen: Dadurch entstehen Kerne des um zwei Ordnungszahlen niedrigeren Elements. Die Massenzahl nimmt um vier Einheiten ab.



Betazerfall: Ein Neutron im Atomkern wandelt sich um in ein Proton, ein Elektron-Antineutrino und ein Elektron, welches als Betastrahlung entweicht: Dadurch entsteht ein Atomkern des nächsthöheren Elements im Periodensystem mit unveränderter Massenzahl.



(v.l.n.r.) Fritz Straßmann und Otto Hahn erklären dem Wissenschaftsjournalisten Heinz Haber anlässlich eines Fernsehbeitrags 1963 ihre



Die Aufzeichnungen zum berühmten Indikatorversuch im Laborjournal von Hahn und Straßmann (1938).

Niels Bohr, von Frisch schon im Januar 1939 über die neuesten Entwicklungen in Kenntnis gesetzt, lieferte die Erklärung für die frei werdende Energie nach Einsteins Masse-Energie-Äquivalent E = mc². Die Bruchstücke der Spaltung haben zusammen eine kleinere Masse als der Urankern und diese Massendifferenz wird als Energie frei. Der enorme Energieertrag der Kernspaltung führte dazu, dass die Möglichkeiten eines Energiereaktors oder einer explosiven Bombe sehr schnell intensiv betrachtet wurden. Der erste Atomreaktor der Welt wurde bereits 1942 von Enrico Fermi in Chicago in Gang gesetzt, die Forscher des Manhattan-Projektes entwickelten die erste Atombombe. Mit schrecklichen Folgen.

Otto Hahn war zwar in den Kriegsjahren Mitglied des »Uranvereins«, der die technische Nutzung der Kernspaltung in Deutschland erarbeiten sollte, aber hier hatte bereits die nächste Generation von Radiochemikern und Physikern die Regie übernommen. Hahn erfuhr während seiner Kriegsgefangenschaft in England sowohl von den Atombombenabwürfen über Japan durch die Amerikaner als auch offiziell davon, dass er den Nobelpreis für Chemie des Jahres 1944 erhalten hatte. Die Nutzung der Kernspaltung für militärische Zwecke bezeichnete er später als »Schweinerei«, mit der er nichts zu tun hatte. Er initiierte Aktionen gegen die militäri-

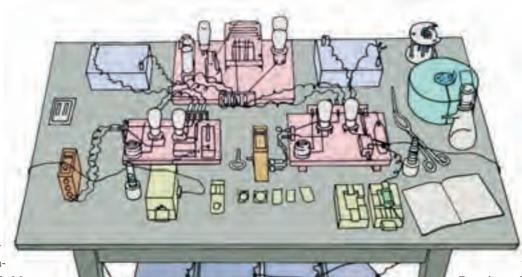
sche Nutzung der Atomkraft wie die Mainauer Kundgebung 1955 oder die Göttinger Erklärung von 1957.

Den Nobelpreis entgegennehmen durfte Hahn erst anlässlich der Zeremonie im Jahr 1946. Bei einem Treffen brachte Meitner ihren Unmut darüber zum Ausdruck, dass Hahn sie nicht aus Deutschland hätte fortschicken dürfen. Er sah darin ihre Enttäuschung darüber, dass er den Preis alleine bekommen hatte. In der Tat war und ist der Chemienobelpreis für Otto Hahn wahrscheinlich einer der meistdiskutierten Preise überhaupt. Hahn und Meitner waren beide mehrmals nominiert worden, auch dachte Hahn sofort nach der Verkündigung seines Preises daran, Meitner selbst zu nominieren (was er schließlich nie tat), doch die Königlich-Schwedische Akademie der Wissenschaften entschied anders. Dies führte schon damals zu Diskussionen. Meitner schrieb an eine Bekannte: »Hahn hat sicher den Nobelpreis für Chemie voll verdient, da ist wirklich kein Zweifel. Aber ich glaube, dass Frisch und ich etwas nicht Unwesentliches zur Aufklärung des Uranspaltungsprozesses beigetragen haben - wie er zustande kommt, und dass er mit einer so großen Energieentwicklung verbunden ist, lag Hahn ganz fern.« Lise Meitner ging Dinge, die sie beschäftigten, direkt an und nahm dabei auch kein Blatt vor den Mund. In seiner Dankesrede bei der Preisverleihung erwähnte Hahn nur zwei seiner Lehrer, wohl aber stellte er in seinem Nobelvortrag am 13. Dezember 1946 die gemeinsame Arbeit des Teams Hahn, Meitner und Straßmann ausführlich dar.

#### Das Exponat: Der Otto-Hahn-Tisch

Das Deutsche Museum hatte seit den 1920er Jahren immer wieder Kontakt zu Lise Meitner und Otto Hahn. Nachdem das Museum Hahn 1931 um eine Probe des von ihm entdeckten Elements Protactinium gebeten hatte, wies dieser »ausdrücklich« darauf hin, dass »das Protactinium im Jahre 1918 von Fräulein Meitner und mir entdeckt [...] worden ist«.

Im Jahr 1952 begann der Kontakt des Museums zu Hans Götte und Arnold Flammersfeld vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz bezüglich noch vorhandener Apparate Otto Hahns. Flammersfeld schrieb im Juli 1952 enthusiastisch, dass »diese Apparate mit denen Hahn und Straßmann die Spaltung entdeckt haben, in das Deutsche Museum gehören«. Flammersfeld erläuterte: »Es handelt sich um einen Tisch, der im Messzimmer von Professor Hahn



stand. [...] Auf ihm stehen lauter Original-Appa-

rate, mit denen Hahn die Messungen und Bestrahlungen vorgenommen hat, die zur Entdeckung der Uranspaltung

führten. Es sind im Wesentlichen 2 Zählrohre mit ihren Bleipanzern, 2 Verstärker mit Zählwerken und Netzanschlussgerät. Unter dem Tisch steht dann noch die Anordnung von Anodenbatterien, die die Spannung für die Zählrohre geliefert hat. Ferner befinden sich auf dem Tisch noch die Nachbildungen der Neutronenquellen, die zur Bestrahlung benutzt wurden. (Die Original-Neutronenquellen sind zu gefährlich und auch zu kostspielig, um ins Museum zu wandern.) Ein Paraffinblock für die Bestrahlung mit langsamen Neutronen [...] und die Zange zum Anfassen der Präparate sind ebenfalls vorhanden.« Es schwingt ein gewisser Stolz durch, dass Flammersfeld die Apparate retten konnte. In Mainz hatte der Tisch mitsamt den Geräten wohl seine Form erhalten, in der wir ihn auch heute noch im Museum sehen können (Bild Seite 18). Das Museum nahm das Exponat schließlich im Herbst 1952 in Empfang.

#### Zweifel an der Echtheit

Weder das Museum, noch die Beteiligten hatten jemals Zweifel an der Authentizität der Geräte aufkommen lassen. Eine Beschreibung des Exponats von Fritz Straßmann aus dem Jahre 1974 sah dies pragmatisch: Der Tisch sei durchaus einer der damals üblichen Arbeitstische aus Berlin, die Geräte allerdings »nicht mehr durchweg dieselben«. »Aber spielt das eine Rolle?«, fragte Straßmann und verwies darauf, dass von den verwendeten Serienfabrikaten »Verschiedenes« bereits während der Versuche »ersetzt werden musste«. Wie wahrscheinlich ist es wohl, dass es sich bei den Drähten, den Filterpapieren und Batterien, die einen Weltkrieg und mindestens drei Umzüge quer durch Deutschland hinter sich hatten, wirklich um die Gegenstände handelt, die im Dezember 1938 in den Händen Hahns und Straßmanns lagen?

Der Tisch mit der Apparatur war also im Museum aufgebaut und harrte seiner Beschriftung. Die geplante Marmortafel sollte folgenden Text tragen: »OTTO HAHN entdeckte 1938 zusammen mit Fritz Straßmann die Spaltung des Urans durch Neutronen und schuf damit die Grundlage für die

Die Originalgeräte von Hahn, Meitner, Straßmann:
Uranprobe und Neutronenquelle im Paraffinblock (türkis), Filterpapiere und Zählrohre im Bleiblock (gelb), Verstärker für das elektrische Signal (rosa), Batterien (violett), mechanische Zähler (braun), Tiegelzange, Saugflasche und Laborjournal (weiß).

technische Verwertung der Atomkern-Energie.« Hahn wurde vom Generaldirektor Zenneck ausdrücklich nach seiner Meinung zu dieser Be-

textung gefragt. In seiner Antwort vom 8. April 1953 zeigte sich Hahn wenig begeistert: »So sehr mich diese Aufmerksamkeit [...] freut, so bin ich doch etwas bedrückt von der Aufmachung, die offenbar vorgesehen ist. Es kommt mir doch einigermaßen übertrieben von, eine Nische mit einer Marmortafel anzufertigen, denn wenn die Zerspaltung des Urans sich in der Folge als sehr wichtig erwiesen hat, so haben weder HERR STRASSMANN noch ich an dieser Entwicklung irgendeinen Anteil.«

Damit nahm Hahn gleichzeitig Abstand von der Entwicklung von Atomreaktoren. Weiter schrieb er: »Wenn die Nische noch nicht fertiggestellt ist, so wäre ich Ihnen sehr dankbar, wenn das Ganze ohne irgendwelche äußere Aufmachung mitgeteilt würde, denn Sie wissen ja selbst, daß ich nie sehr dafür war, herausgestellt zu werden, und daß es mir durchaus nicht angenehm ist, so oft in der Zeitung genannt zu werden.« Angesprochen auf ein auszustellendes Laborjournal vermutete er, er habe »früher Journale Fräulein MEITNER nach Stockholm mitgegeben oder geschickt«, wobei er nicht sicher war, ob die von Ende 1939 [sic!] auch dabei waren. Dieser Brief widersprach ganz klar dem Bild, das manchmal von Otto Hahn gezeichnet worden ist: Dass er nach dem Krieg seine Kollegen und insbesondere Lise Meitner zu oft verschwiegen habe. Allein die Nennung der beiden Mitstreiter in diesem Brief hätte dem Museum aufzeigen müssen, dass das Display »Otto-Hahn-Tisch« falsch ist. Es wäre möglich gewesen, von Beginn an eine korrekte Beschriftung anzubringen. Das Museum vergab diese Chance. Zenneck bekundete in seiner Antwort Verständnis für Hahns Abneigung dagegen, »an die Öffentlichkeit gezerrt zu werden«, schickte aber ein Bild der bereits fertiggestellten Nische mit und betonte, dass die Sache »sehr dezent ist«. Hahn beharrte in seiner Antwort wahrscheinlich aus Höflichkeit nicht auf einer Änderung. Zenneck dürfte ein Stein vom Herzen gefallen sein.

Und so sahen die Besucher das Exponat: Als »Arbeitstisch« wurde bezeichnet, was nie in dieser Form gemeinsam auf

Otto Hahn und Lise Meitner (hier in den 1960er Jahren) blieben ein Leben lang in freundschaftlichem Kontakt, wobei keiner von beiden je das offene Wort scheute.

einem Tisch stand. Der Paraffinblock und die Nachbildung der Neutronenquellen standen in einem Bestrahlungsraum, die chemische Analyse fand im Labor von Straßmann statt. Die Messung der Aktivitäten führte man im Messraum durch. Das paarweise Arrangement der Zähler hatte keinen wissenschaftlichen Grund, verlieh dem Ganzen aber eine wunderbare Symmetrie. Interessanterweise sprach Hahn immer von drei Zählern, die zur Verfügung standen (und deren Anzahl die Menge der Messungen begrenzte). Nie hat einer der Museumstexte darauf hingewiesen, dass die Messungen so unmittelbar neben der Neutronenquelle zum Scheitern verurteilt gewesen wären.

#### Eine historische Verfälschung

Otto Hahn gab 1963 anlässlich des 25. Jahrestages der Entdeckung ein Fernsehinterview, in dem er die gesamte Geschichte Revue passieren ließ. Das Interview führte der bekannte Wissenschaftsjournalist Heinz Haber sachlich, unaufgeregt und ohne jeden Personenkult (Bild Seite 21). Hahn schilderte alle Vorarbeiten detailliert und bezeichnete die Konstellation Hahn/Meitner/Straßmann als »Gemeinschaftsteam«. Straßmann führte neben dem Museumsexponat exemplarisch eine chemische Trennung vor. Hahn konstatierte, Wissenschaft sei weder moralisch noch unmoralisch. Die gezügelte Kernspaltung gebe Schönes für die Menschheit, die ungezügelte Reaktion dürfe nicht das Schöne verblenden. Damit stellte sich Hahn ganz klar auf den Standpunkt, dass er mit den negativen Folgen seiner Entdeckung nichts zu tun habe.

Das Exponat in seiner Vitrine blieb für viele Jahre der »Otto-Hahn-Tisch«. Auf Hinweise aus dem Jahr 1978, dass das Museum durch die Weglassung von Meitner und Straßmann eine »historische Verfälschung duldet«, antwortete man, dass Hahns Name »wohl immer derjenige sein [wird], der mit der Entdeckung [...] am herausragendsten verbunden ist«. In Berlin fand 1979 eine große Ausstellung anlässlich der einhundertsten Geburtstage von Einstein, Hahn, von Laue und Meitner statt. Die Wissenschaftler wurden hier alle vier in gleichem Maße geehrt. Das Deutsche Museum war an der Vorbereitung der Ausstellung beteiligt und wird im Katalog explizit erwähnt. Den Museumsverantwortlichen hätte also durchaus dämmern können, dass die Konzentra-



tion auf Hahn zu einseitig war. Richtig ins Rollen kam die Sache erst 1989. Anlässlich der Sonderausstellung »Die Geschichte der Entdeckung der Kernspaltung« wurden neue Texttafeln erstellt. Ein Poster erwähnte Hahn, Straßmann und Hahns »Mitarbeiterin« Lise Meitner, eine Bezeichnung, die Meitner äußerst erbost hätte. Die Meitner-Biografin Ruth Lewin Sime stellte diesen Sachverhalt anlässlich einer Tagung vor. Die Kongressteilnehmer verfassten daraufhin eine Petition an den damaligen Generaldirektor Otto Mayr, die Präsentation des Arbeitstisches zu ändern. Otto Mayr ließ die unglückliche Formulierung ändern. Im Jahr 1992 wurde eine Lise-Meitner-Büste im Ehrensaal enthüllt. Der Beitrag Fritz Straßmanns wird dort nur in der Fußnote zu Hahns Büste erwähnt.

Im Jahr 1998 wurde der Tisch an die Zweigstelle nach Bonn verliehen und beim Anheben des Paraffinblockes rieselte den Kollegen doch tatsächlich noch eine Spur historischen Uranpulvers entgegen. Daraufhin verschloss man den Paraffinblock mit einer dicht schließenden Plexiglashaube. Seit dieser Zeit haben wiederholte Messungen gezeigt, dass an diesem Museumsexponat nichts mehr strahlt. Seit Dezember 2012 steht der Tisch gereinigt in der Ausstellung Museumsgeschichte. Der Tisch wurde im Museum zu einer Ikone der Wissenschaftsgeschichte, einem Kunstobjekt, dessen Aura nicht nur von seiner Geschichte, sondern auch von seiner nahezu altarhaften Form genährt wird.



E ALITODII

Dr. Susanne Rehn

#### ist Chemikerin und seit 2005 Kuratorin für Chemie am Deutschen Museum. Für den Artikel wurden kommentierte Literatur, Ausstellungskataloge und eine Reihe von Originaldokumenten aus verschiedenen Archiven herangezogen. Die Autorin dankt Prof. Vaupel, Dr. Füßl und allen Kollegen aus dem Archiv des Deutschen Museums, Herrn Dr. Ullmann (Archiv der MPG Berlin), Herrn M. Poloni (Italien) und Herrn J. Lemmerich (Berlin) für persönlichen Austausch

und Unterstützung.

### Kuchen, Monde und Planeten

Schon die Philosophen der Antike haben nach den Grundbausteinen der Materie gesucht. Die Grafik zeigt einige der Stationen und Akteure auf dem Weg zu unserer heutigen Vorstellung von der Welt der Atome bis zur Spaltung des Atomkerns.

#### 1897 JOSEPH JOHN THOMSON

erkennt, dass die bereits bekannte Kathodenstrahlung von negativ geladenen Teilchen herrührt: den Elektronen. In seinem Atommodell sind die Elektronen in einem »Rosinenkuchen« aus positiv geladener Materie eingebettet.

#### 1896 MARIE CURIE

weist die von Becquerel entdeckte Strahlung auch bei Thorium und anderen Elementen nach. Sie nennt diese Strahlen »Radioaktivität«.

#### 1896 ANTOINE-HENRI BECQUEREL

entdeckt, dass Uranverbindungen besondere Strahlen aussenden, die verschiedene Materialien durchdringen und Fotoplatten schwarz färben.

#### 1913 NIELS BOHR

stellt sein Atommodell auf, dem zufolge sich Elektronen auf bestimmten Bahnen aufhalten. Damit lassen sich Linienspektren und viele chemische Phänomene erklären.

1936 Niels Bohr formuliert ein Modell des Atomkerns, nach dem dieser sich wie ein Tropfen verhält.

#### 1902 ERNEST RUTHERFORD

entdeckt die Alpha- und die
Betastrahlung und weist 1909
nach, dass der größte Teil des
Volumens der Atome masselos ist.
Sein Atommodell beschreibt
die Elektronen als »Monde«, die
um den positiven Atomkern im
Zentrum kreisen. Dieser verändert
sich bei radioaktiven Reaktionen:
andere chemische Elemente
entstehen.

1917 beschießt Rutherford Stickstoffatome mit Alphateilchen. Es entstehen Sauerstoffatome und »Wasserstoffkerne«. Letztere bezeichnet er ab 1920 als Protonen. Da die Masse der Protonen nicht ausreicht, um die Masse von Atomkernen zu beschreiben, postuliert Rutherford ein elektrisch neutrales Teilchen, das »Neutron«.

#### 1938 LISE MEITNER, OTTO HAHN UND FRITZ STRASSMANN

arbeiten schon seit einiger Zeit an der Manipulation von Urankernen, um Transurane zu finden.
Als es gelingt, Produkte der Reaktion als Barium-Isotope nachzuweisen, ist Lise Meitner aufgrund ihrer erzwungenen Flucht aus Deutschland nicht mehr dabei.

1939 Mit Hilfe des Bohr'schen
Tröpfchenmodells des Atomkerns
erarbeiten Lise Meitner und Otto
Robert Frisch eine Interpretation der Versuche.
Der Tropfen gerät durch das Bombardement mit
Neutronen so in Schwingung, dass er sich in zwei
kleine Tröpfchen teilt. Meitner und Frisch prägen den
Begriff Kernspaltung (»nuclear fission«).



bestrahlt als erster Proben mit einer Neutronenquelle aus Radon und Beryllium. Dabei findet er eine ganze Reihe von Elementveränderungen.

#### 1932 JAMES CHATWICK

entdeckt beim Beschuss von Berylliumatomen mit Alphateilchen das vorhergesagte Neutron. Das ermöglicht die Manipulation von Atomkernen mit elektrisch neutralen Teilchen.

#### 1934 IDA TACKE-NODDACK

wiederholt die Versuche Fermis und stellt dessen Ergebnisse hinsichtlich des Transuran-Elements 93 infrage. Sie postuliert, dass Atomkerne beim Beschuss mit Neutronen andere Kernreaktionen eingehen.

#### 1933 IRÈNE & FRÉDÉRIC JOLIOT-CURIE

entdecken die künstliche (induzierte)
Radioaktivität. Sie beschießen Aluminiumfolie
mit Alphateilchen und setzen eine radioaktive
Umwandlung in Gang.

## Ende der Märchenstunde?

Das Bohr'sche Atommodell in Unterricht und Lehre. von Christian Sicka

as Atommodell des Physikers Niels Bohr von 1913 mit seinen auf planetaren Bahnen um ein Zentrum kreisenden Elektronen hat nicht nur das öffentliche Bild vom Atom geprägt. Im Studium, aber vor allem in der schulischen Ausbildung nimmt es nach wie vor eine wichtige Stellung ein. Allerdings wurden gerade in letzter Zeit vermehrt Stimmen laut, die sich aus verschiedenen Gründen gegen die Verwendung des Bohr'schen Modells in der Lehre ausgesprochen haben. Auch in außerschulischen Bildungseinrichtungen, wie beispielsweise Museen oder Science Centern, stellt sich immer wieder die Frage, in welcher Form es als Erklärungsmodell des Atomaufbaus noch herangezogen werden sollte.

#### Das Bohr'sche Atommodell in der Schule

In einem Auszug aus dem Kommentar zum aktuellen Lehrplan an bayerischen Gymnasien ist zu lesen: »Im Physiklehrplan wird auf die Behandlung des Bohr'schen Atommodells bewusst verzichtet. Der Grund hierfür liegt in den damit verknüpften Vorstellungen zum Atomaufbau, die einem miniaturisierten Planetensystem gleichkommen. Dieses Modell ist zwar sehr einprägsam, jedoch nach heutigem Erkenntnisstand der Physik falsch. Aus diesem Grund sollten Bilder mit kreisenden Elektronen vermieden werden.«

Während man in Bayern das Bohr'sche Atommodell bewusst ausklammert, steht es im Bundesland Hessen sehr wohl im aktuellen Lehrplan. Hier wird es im historischen Kontext eingeführt: Sowohl im Grundkurs wie im Leistungskurs soll ein »Überblick über die klassischen Atommodelle« gegeben werden, die Physiklehrer sollen den Schülern die »Grenzen dieser Modelle« erläutern. Es gibt also unterschiedliche Meinungen, wie nützlich dieses Modell für das Verständnis des Aufbaus unserer Welt sein kann.



In einigen Bundesländern Deutschlands wurde das Bohr'sche Atommodell aus dem Lehrplan gestrichen. Hessischen Schülern wird das Modell allerdings noch erläutert. (Bild oben: Schülerin mit Benzolring)

Nicht nur in der gymnasialen Oberstufe, auch im Chemie- und im Physikunterricht der Mittelstufe und an Realschulen kommen einfache Atommodelle zur Sprache und dabei wird häufig auf das einprägsamste – das Bohr'sche Atommodell – zurückgegriffen. Auch hier gibt es von Bundesland zu Bundesland Unterschiede in den Lehrplänen. So lernen manche Schüler in Deutschland mehr über das Bohr'sche Atommodell, andere weniger.

Die Vermittlung der Quantenmechanik stellt Lehrer erfahrungsgemäß vor große Schwierigkeiten. Auch an den Lehrstühlen für Physikdidaktik macht man sich daher Gedanken über die Relevanz des Bohr'schen Atommodells. Dort werden Unterrichtskonzepte für die Quantenmechanik entwickelt, die später mehr oder weniger in Lehrpläne einfließen oder schon eingeflossen sind. Die Zugänge zur Quantenmechanik, die dabei gewählt werden, sind sehr verschieden:

Im sogenannten Münchener Unterrichtskonzept zur Quantenmechanik wird das »Bohr'sche Atommodell als eine den Schülerinnen und Schülern vermutlich vertraute Vorstellung angesprochen«. Weiter wird dort ausgeführt: »Auf der Grundlage der vorher ausführlich diskutierten Schwierigkeiten, die die Begriffe »Ort« und »Bahn« im Quantenbereich mit sich bringen, wird erarbeitet, aus welchen Gründen es sich hierbei [beim Bohr'schen Atommodell] um eine mit den quantenmechanischen Prinzipien nicht vereinbare Vorstellung handelt.«

Abbildungen: Formel1 online: istockphoto

Bei dem von den Physikdidaktikern Helmut Fischler und Michael Lichtfeldt unter Mitwirkung von Lehrern erarbeiteten Berliner Konzept wird der Unterschied zwischen klassischen und Quantenphänomenen stark betont. Bezüge zur klassischen Physik wie dem Bohr'schen Atommodell werden weitgehend vermieden. Sie schließen sich damit der Meinung von Alto Brachner und Richard Fichtner an, die in den späten siebziger Jahren den ersten Quantenphysik-Kurs für Schulen entwickelten. In ihrem Buch Quantenmechanik für Lehrer und Studenten schreiben sie: »Die Schulphysik beschreibt moderne Theorien mit den hierfür unzureichenden Methoden und Begriffen der klassischen Physik. Damit trägt sie alle unnötigen Widersprüche und Schwierigkeiten in die Schule, mit denen selbst die hervorragendsten Physiker der halbklassischen Epoche (1900–1925) zu kämpfen hatten, weil sie die Ursache dieser Schwierigkeiten noch nicht voll aufgedeckt hatten.«

Auch die Autoren des in letzter Zeit kontrovers diskutierten Karlsruher Physikkurses, ein am Lehrstuhl für Physikdidaktik der Universität Karlsruhe ausgearbeiteter Vorschlag zur Neustrukturierung des Physikunterrichts in Schule und Hochschule, sehen den historischen Zugang über das Bohr'sche Atommodell eher als unnötigen Umweg. In dem Buch Altlasten der Physik von Friedrich Hermann und Georg Job werden Themen identifiziert, die im Karlsruher Physikkurs in der herkömmlichen Form nicht mehr vorkommen sollen. Im Kapitel »Der Bahnbegriff in der Quantenmechanik« ist zu lesen: »Auch wenn wir Physiker es längst besser wissen, tragen wir doch unentwegt dazu bei, das nicht funktionierende Modell am Leben zu erhalten. So findet kaum eine Staatsexamensprüfung zur Atomphysik oder Quantenmechanik statt, in der nicht das Bohr'sche Atommodell abgefragt wird. Und wenn der Student auch sonst nicht viel weiß - das Bohr'sche Atommodell kennt er, also gerade dasjenige Modell, von dem man später nachweist, es sei nicht ausreichend oder nicht tragfähig genug. Aber auch bei unzähligen anderen Gelegenheiten wird den Schülern und Studenten genau das suggeriert, was wir ihnen eigentlich austreiben wollten.« Stattdessen schlagen die Karlsruher Physikdidaktiker vor, ein alternatives Atommodell, das sogenannte Elektroniummodell, zu unterrichten. Dabei wird eine fiktive Substanz (Elektronium) angenommen, deren Dichte

den Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen im quantenmechanischen Modell entspricht. Obwohl auch das Elektroniummodell eine Art Hilfsvorstellung anbietet, sollte der Schritt zu den Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Quantenmechanik, so die Meinung der Karlsruher, mit diesem Modell von den Schülern besser vollzogen werden können. Eine ähnliche Richtung wie der Karlsruher Physikkurs schlägt das Bremer Unterrichtskonzept ein. Es wird auch hier versucht, die Dominanz des Bohr'schen Modells in der Schülervorstellung zu brechen, indem man »das Bohr'sche Modell nur so weit berücksichtigt, wie es in einem schülerorientierten Unterricht von Schülern selbst eingebracht wird«.

Einige Physikdidaktiker schlagen völlig neue Wege ein, um den Schülern Quantenmechanik beizubringen. Auch bei diesen Unterrichtskonzepten wird mit der Tradition gebrochen, den historischen Weg der Quantenmechanik nachzuzeichnen: Das Bohr'sche Atommodell kommt bei ihnen nicht mehr vor. Patrick Bronner skizziert in seiner Dissertation Quantenoptik als Grundlage eines Curriculums zur Quantenphysik des Photons einen sehr modernen Weg, sich über Experimente aus der Quantenoptik der Quantenmechanik zu nähern. Teile seines Konzepts werden bereits in einem Schülerlabor der Universität Erlangen-Nürnberg angewandt.

Andere Verfasser von Konzepten zur Einführung der Quantenmechanik in der Schule wurden stark von dem amerikanischen Physiker und Nobelpreisträger Richard Feynman inspiriert, der in seiner Vorlesung über Quantenmechanik bewusst vom historischen Pfad abweicht. Auch den »Zeigerformalismus«, den er in seinem populärwissenschaftlichen Buch QED – die seltsame Theorie des Lichts und der Materie als Erklärungsmodell vorstellte, griffen einige Physikdidaktiker auf und entwickelten daraus Unterrichtskonzepte.

#### Das Bohr'sche Atommodell im Physikstudium

Die Frage, ob das historische Atommodell noch ins Curriculum passt, setzt sich auch im Studium der Physik fort. Greifen wir zwei Beispiele aus der Standardliteratur für Physikstudenten der ersten Semester heraus: das Lehrbuch von Haken und Wolf, *Atom- und Quantenphysik*, das bereits in der 8. Auflage erscheint, sowie Feynmans legendäre *Vorlesungen über Physik*, *Band III: Quantenmechanik*. Haken und Wolf behandeln das Bohr'sche Atommodell des Wasserstoffatoms in



einem eigenen Kapitel auf zehn Seiten, während die populären Vorlesungen über Physik von Feynman das Bohr'sche Modell mit keinem Wort erwähnen. Bei Feynman erkennt man deutlich die sprachlichen Schwierigkeiten, wenn man ohne Schalenmodell auf elementare Art und Weise die diskreten Energiezustände des Atoms erklären will. Er schreibt: »Wir haben über das Atom im niedrigstmöglichen Energiezustand gesprochen, aber es stellt sich heraus, dass das Elektron auch andere Dinge tun kann. Es kann sich auf energiereichere Art regen und bewegen, und so gibt es viele verschiedene Bewegungsmöglichkeiten für das Atom. Nach der Quantenmechanik kann es in einem stationären Zustand nur bestimmte Energien für ein Atom geben.«

Wie viel einfacher ist da die Vorstellung, dass sich das Elektron auf bestimmten Bahnen um den Atomkern bewegt, wobei das umkreisende Elektron auf den innen liegenden Bahnen mehr Energie besitzt als auf den äußeren. Im Lehrbuch von Haken und Wolf kann man auch lernen, dass man aus dem Bohr'schen Atommodell sehr wohl quantitative Aussagen ableiten kann. So kann man die Rydbergkonstante, die Ausdehnung des neutralen Wasserstoffatoms, die Ionisierungsenergie des Wasserstoffatoms und die Wellenzahlen der Spektrallinien näherungsweise berechnen – und das mit klassischen Variablen, deren Verwendung in der Quantenmechanik eigentlich unzulässig ist. Haken und Wolf gehen sogar noch weiter und wenden das Bohr'sche Atommodell auf die erst 1952 gefundenen Myonenatome an und kommen zu dem Ergebnis, dass Myonenatome Gammastrahlung aussenden. Eine Herangehensweise, die nur Ergebnisse aus der klassischen Mechanik und Elektrodynamik verwendet, führt also nicht notwendig zu völlig falschen Ergebnissen.

Auch in anderen Standardwerken wie in Bergmann-Schäfers *Lehrbuch der Experimentalphysik* wird das Bohr'sche Atommodell als Vorläufer zur quantenmechanischen Formulierung von Erwin Schrödinger behandelt. Ein ähnliches Vorgehen findet man bei vielen anderen Lehrbüchern für die ersten Semester des Physikstudiums.

#### Das Bohr'sche Atommodell im Museum

Museen mit einem Bildungsauftrag wie das Deutsche Museum stehen vor einer ähnlich schwierigen Aufgabe wie Schulen und Universitäten: Soll man zahlreichen Schülern

und dem interessierten Laien ein einfaches Modell wie das Bohr'sche Atommodell als Holz-Draht-Modell in den Ausstellungen präsentieren und im Detail erklären, oder soll man versuchen, das komplizierte, aber »richtigere« quantenmechanische Modell zu vermitteln?

Da sich das Deutsche Museum der Naturwissenschaftsund Technikgeschichte verpflichtet sieht, hat man bisher, anders als beispielsweise an Science Centern, den historischen Zugang zur Quantenmechanik gewählt. Das Bohr'sche Atommodell darf dabei natürlich nicht fehlen. Der Ausstellungsmacher sieht sich aber mit einem weiteren Problem konfrontiert: Besucher kommen ins Museum, um Objekte zu sehen. Das probabilistische Atommodell der Quantenmechanik ist zwar mathematisch exakt beschreibbar, kann jedoch kaum als dreidimensionales, haptisches Modell in der Ausstellung gezeigt werden. Dann nämlich müsste man die abstrakten Aufenthaltswahrscheinlichkeiten der Elektronen in dreidimensionale Strukturen übersetzen und würde dadurch beim Besucher ähnliche Fehlschlüsse wie beim Bohr'schen Atommodell heraufbeschwören. Man hätte dann nur eine unzutreffende Vorstellung durch eine andere ersetzt.

In der bisherigen Ausstellung für Atom-, Kern- und Teilchenphysik, die im Jahr 2000 zuletzt überarbeitet wurde und die derzeit neu konzipiert wird, konnte man die Entwicklung der Modellvorstellungen vom Atom genau verfolgen. Dabei sollte deutlich werden, dass in der historischen Abfolge der Atommodelle das Bohr'sche Atommodell lediglich ein Zwischenschritt bei der Entwicklung hin zu dem probabilistischen Atommodell der Quantenmechanik ist, das bis Ende der 1920er Jahre entwickelt wurde und das auch heute noch in seiner damaligen Form Bestand hat. Um die Anschaulichkeit zu verbessern, hat man für die Ausstellung zum Teil dreidimensionale Modelle angefertigt - auch bei den einfachen Atommodellen ein schwieriges Unterfangen, denn wie bei Modellen unseres Planetensystems muss man aufgrund der Größenverhältnisse im Atom auf Maßstäblichkeit verzichten, was wiederum beim Besucher zu Fehlschlüssen führen kann.

In einer Reihe standen das Rosinenkuchenmodell des Engländers Joseph John Thomson, das Modell von Ernest Rutherford mit seinem kleinen runden Atomkern und der im Verhältnis dazu weit ausgedehnten Hülle, in der sich die Elektronen aufhalten, und das Bohr'sche Atommodell mit





In der alten Ausstellung zur Atom-, Kern- und Teilchenphysik präsentierte man drei Modelle nebeneinander.

Bilder von oben nach unten: Rosinenkuchenmodell von J. J. Thomson, Modell von E. Rutherford sowie Bohrs Atommodell.



vier durch Ringe angedeuteten planetaren Elektronenbahnen. Die Erweiterung dieses Atommodells durch Sommerfeld wurde nicht mehr als haptisches Modell umgesetzt. auch beim quantenmechanischen Atommodell hat man, wohl auch aus oben genannten Gründen und im Unterschied zu früheren Ausstellungen (siehe Eckert S. 12 ff.), auf eine dreidimensionale Darstellung verzichtet. Stattdessen werden einige sogenannte Orbitale, das sind die Aufenthaltswahrscheinlichkeiten des Elektrons in bestimmten Zuständen, grafisch dargestellt.

#### Richtig oder falsch

Es ist allgemein bekannt, dass die Atomphysik und ihre mathematische Grundlage, die Quantenmechanik, wegen ihrer Komplexität, aber auch aufgrund der Interpretationsprobleme, die damit verbunden sind, zu den schwierigsten physikalischen Disziplinen zählen. Es ist daher nicht verwunderlich, dass es viele unterschiedliche Ansätze gibt, Lernwilligen die Welt der kleinsten Dinge näherzubringen. Auch wenn in dem bisher Gesagten nur einige Auszüge aus schulischen und außerschulischen Lehrprogrammen angesprochen wurden, stellt man fest, dass sich zwei grundsätzliche Wege unterscheiden lassen: Der historische Zugang versucht, Schülern und Studenten den Weg zur Quantenmechanik zu ebnen, indem man sie die einzelnen Schritte bis hin zur Schrödinger'schen und Heisenberg'schen Formulierung im Zeitraffer und geglättet nachvollziehen lässt. Hier gehört das Atommodell von Bohr als wichtiger Zwischenschritt ins Lehrprogramm.

Der zweite Zugang zur Quantenmechanik, der mehr und mehr Anhänger zu bekommen scheint, will Schüler und Studenten möglichst schnell und ohne Umwege auf den heutigen Stand der Wissenschaft bringen. Um neue Themen ansprechen zu können, muss der Lehrplan entrümpelt werden. Für die Vertreter dieses didaktischen Modells spricht vieles dafür, das hundert Jahre alte, schon damals vorläufige Atommodell von Bohr nicht mehr zu lehren. Bleiben unsere Kinder und Enkelkinder also in Zukunft vom Bohr'schen Atommodell verschont? Es gibt einige gute Ansätze, die sehr komplexen und abstrakten Theoriegebäude der Quantenmechanik oder sogar der Quantenelektrodynamik auf Schüler- oder Studentenniveau zu erklären. Manchmal stellt sich allerdings die Frage, wie viel dabei von der ursprünglichen

Theorie übrig- und beim Schüler hängenbleibt. Das Modell von Bohr dagegen ist anschaulich, aber - so meinen die Kritiker – genau genommen falsch: Es kann keine chemischen Bindungen erklären und auch die Lage der Spektrallinien von Atomen mit mehreren Elektronen kann man damit nicht berechnen. Dabei ist aber zu bedenken: Alle Modelle in den Naturwissenschaften sind genau genommen falsch, denn sie haben einen beschränkten Gültigkeitsbereich. Das war schon zu Zeiten von Bohr klar (siehe Heilbron S. 6 ff.). Was in der Schule zu kurz kommt, ist die Frage, was eine Theorie oder ein Modell in der Physik generell leisten kann. Hat der Schüler zu hohe Erwartungen an ein Modell, indem er es mit der Wirklichkeit gleichsetzt, so wird er an dem Modell festhalten. Während die einen weiterhin die Elektronen in Bohr'schen Bahnen dahinziehen sehen, erblicken die anderen keulenförmige Wolken um den Kern. Spätestens wenn es um den Atomkern geht, werden beide Gruppen wieder enttäuscht. Es gibt zwar heuristische Modelle des Atomkerns (siehe Rehn S. 18 ff.), man weiß aber auch hier, dass beide Modelle eigentlich falsch sind – nur: Niemand hat es bisher geschafft, die Eigenschaften von Atomkernen mit Hilfe der Quantenchromodynamik exakt herzuleiten, und selbst Experten müssen sich mit diesen beiden heuristischen Modellen begnügen.

Wenn man nicht so hohe Erwartungen an ein Modell hat und es eher nach Nützlichkeit bewertet, schneidet das Bohr'sche Atommodell gar nicht so schlecht ab. Es erklärt die Spektrallinien des Wasserstoffs auf nachvollziehbare Art und Weise und liefert ein anschauliches Modell der Emission und Absorption von Licht durch Atome. Außerdem erlebt das Bohr'sche Atommodell seit kurzem eine unerwartete Renaissance: Seit einigen Jahren kann man in der Spitzenforschung mit Hilfe von Lasern »Rydbergatome« herstellen. Das Elektron ist bei diesen Riesenatomen so weit vom Atomkern entfernt, dass man Rydbergatome in guter Näherung mit dem alten Bohr'schen Atommodell beschreiben kann. Dieses Beispiel zeigt, dass es oft nützlich ist, wenn man zur Lösung von Problemen in der aktuellen Forschung auf alte Modelle zurückgreifen kann. Es stellt sich die Frage, ob wir unseren Schülern und Studenten nicht einen möglichst großen Werkzeugkasten mit anschaulichen und nützlichen Modellen, wie dem Bohr'schen, mit auf den Weg geben sollten.



Modelle in den Naturwissenschaften sind nie ein Abbild der Realität. Aufgabe des Unterrichts sollte es sein, Schülern die Funktion solcher Hilfskonstruktionen deutlich



D ALITOD

Dr. Christian Sicka ist Physiker und Kurator für Schifffahrt, Maß und Gewicht, Zeitmessung und den Bereich Atom- Kernund Teilchenphysik am Deutschen Museum.

## Das Atom als Planetensystem

Weder Niels Bohr noch Ernest Rutherford, bei dem Bohr seit 1911 forschte, hat die Idee des planetaren Atoms selbst erfunden. Auch die Wissenschaft wollte dieses Bild nicht gleich mit Begeisterung übernehmen. Die »Bilder« der Wissenschaft werden vielmehr erst zusammen mit der Öffentlichkeit ausgehandelt. von Arne Schirrmacher

er junge Dozent hatte ein Gruppe von Schülern und Mitgliedern des Freundeskreises der Universität vor sich, als er versuchte, ihnen in möglichst anschaulichen Worten von den Fortschritten in der Physik zu erzählen, die sich seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen und der Radioaktivität ergeben hätten. Zum ersten Male zeichne sich ein Weg ab, um die Konstitution der Materie zu erschließen, etwa in folgender Hypothese: Jedes Atom besteht aus positiv geladener Elektrizität in der Gestalt einer positiven Sonne und aus einer Zahl von Korpuskeln in der Gestalt von kleinen negativen Planeten, die entsprechend der zwischen ihnen wirkenden elektrischen Kräfte umeinander kreisen. Die negativen Planeten verschiedener Atome sind dabei alle ihrer Art nach identisch. Letztlich besteht die Materie des ganzen Universums aus solcher positiver und negativer Elektrizität. Die Anordnung der Planetenbahnen und die Möglichkeiten, einen dieser Planeten durch elektrische Kräfte zu entfernen, entsprechen bekannten physikalischen Phänomenen, etwa den Emissionsspektren von Atomen, den Kathodenstrahlen oder auch der Radioaktivität. Letztere haben bei größeren atomaren »Planetensystemen« wie beim Uranatom möglicherweise mit dem äußersten Planeten, sozusagen mit dem Neptun des Planetensystems, zu tun.

Der hier geschilderte Vortrag, der eine ganze Reihe von Feststellungen enthält, die wir üblicherweise Niels Bohr und seinem 1913 veröffentlichten Atommodell zuschreiben oder, was den Atomkern betrifft, frühestens bei Ernest Rutherford 1911 vermuten würden, wurde indes schon im Jahre 1901 in Paris an der Sorbonne gehalten. Der Vortragende, Jean Perrin, war gerade Dozent für physikalische Chemie geworden. Der Text findet sich gedruckt in der eher populärwissenschaftlichen Zeitschrift *Revue scientifique*, auch *Revue rose* genannt, weil sie in rosa Papier eingebunden wurde, um sich am Kiosk von der *Revue bleue* abzusetzen, die für literarisch

Interessierte gedacht war. Wie konnte der noch unbekannte Perrin, der später allerdings zu einem der bedeutendsten französischen Physiker werden sollte, zehn Jahre vor Rutherford und Bohr schon wissen, wie das Atom aussieht?

#### Die Bilder der Wissenschaft

Neuere Forschungen der Wissenschaftsgeschichte und der Bildwissenschaften haben in den letzten Jahren interessante neue Einblicke in die Rolle und Verwendung von Fotos, Zeichnungen und anderen Illustrationen in den Wissenschaften ermöglicht. Bilder, Visualisierungen oder Skizzen spielen im Prozess der wissenschaftlichen Forschung eine häufig viel größere Rolle, als lange angenommen wurde. Und auch bei der Vermittlung neuer Erkenntnisse kommt ihnen große Bedeutung zu, wird doch durch die gewählten Bilder, Modelle und Analogien mitbestimmt, welches Verständnis, welche Assoziationen, kurz: welches Bild sich in der Öffentlichkeit von der Wissenschaft etabliert.

Es mag uns, die wir heute in einem überreichen visuellen Zeitalter leben, erstaunen, dass es häufig auch bildlose Perioden in der Wissenschaftsgeschichte gegeben hat – auch in Bezug auf das Atom. Zwar wurde schon in der Antike von Atomen als unteilbaren Grundelementen der Materie gesprochen, aber trotz aller bildnerischen Fähigkeiten der Griechen oder Römer, die wir auf Vasen, Fußbodenmosaiken oder Wandmalereien kennen - Bilder vom Atom gab es keine. Die Naturphilosophen haben die Atome als Formen (forma) interpretiert, nicht aber als bildliche Darstellungen (figura). Der in den Niederlanden lehrende Wissenschaftshistoriker Christoph Lüthy hat sich die Mühe gemacht, die ersten Bilder von Atomen zu suchen und ist bei Giordano Bruno und seiner Schrift De triplici minimo et mensura von 1591 fündig geworden. Danach ist das Atom als Kügelchen, das man etwa in regelmäßigen Anordnungen stapeln kann, schnell auch in vielen anderen Schriften



nachweisbar. Der Schritt zum Atom des Chemikers, der die Kügelchen mit Stäbchen zu Molekülen zusammenbaut, ist

dann gar nicht mehr so weit.

Freilich ist es ein Unterschied, ob man eine Abbildung oder Zeichnung findet, die dazu verwendet wird, den einen oder anderen Aspekt der Materie zu illustrieren, oder ob man das Bild von der Natur entdeckt zu haben glaubt. Aus Brunos Spekulation musste erst naturphilosophische Gewissheit werden, wie sie dann etwa bei René Descartes in seinen Prinzipien der Philosophie erscheint. Wir verstehen nun, warum Bohr oder Rutherford nicht die Erfinder des Bildes vom Atom als kleines Planetensystem waren, sondern dass sie dieses schon vorhandene, aber bisher mehr oder weniger spekulative Bild wissenschaftlich durch Experiment und Theorie etabliert haben. Trotzdem bleibt die Frage, wie es zu diesen Spekulationen kam. Wissenschaftstheoretisch gefragt: Wie durch Kombination von spekulativen Bildern, Modellen, Theorien und der Deutung von experimentellen Messwerten neues Wissen wie jenes über das Atom langfristig entsteht und sich verfestigt. Hierbei spielen Bilder zweifellos eine große Rolle.

#### Kosmische Leere und Planetenträume

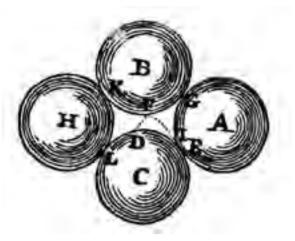
Auch Jean Perrin hatte die Analogie zu den Körpern im Himmelskosmos wohl nicht gänzlich neu erfunden, ebenso wenig war er der Einzige, der am Anfang des 20. Jahrhunderts darüber sprach. Verbreiteter war die Idee der kleinen Planetensysteme im fast leeren Mikrokosmos bei - wen sollte das In der populärwissenschaftlichen Zeitschrift Revue

> wundern - den Astronomen. Durch das große Interesse an den Volkssternwarten waren sie am ehesten mit breiteren Publikumsschichten in Kontakt gekommen. In einem der ersten Beiträge für die seit 1904 erscheinende populäre Zeitschrift Kosmos thematisierte Max Wilhelm Meyer »Das Radium und die neueren Ansichten über die Welt der Atome« und berichtete, dass »auch die chemischen Atome noch ganze Weltsysteme bilden, aus vielen noch kleineren Teilen zusammengesetzt, die das Schwerezentrum des Atoms umkreisen, wie die Planeten unsere Sonne«. Zugleich teilte er seinen Lesern auch die neueren physikalischen Ergebnisse mit, nach denen kleinste Materieteilchen wie die Elektronen, die von radioaktivem Radium ausgesendet werden, das »molekulare Gefüge aller anderen Materie mehr oder weniger ungehindert« durchdringen.

> Das war das Ergebnis des Physikers Philipp Lenard, der damals einer der bedeutendsten Experimentalphysiker war und 1905 den Nobelpreis erhielt. (Seine spätere unrühmliche Rolle als Nazi-Wissenschaftler wurde unlängst im Deutschen Museum kritisch beleuchtet.) Auch Lenard hatte die Möglichkeit kleiner Planetensysteme schon in Erwägung gezogen und bemerkt, dass - anders als bei der Gravitation bei elektrischen Kräften – auch Abstoßung auftritt, was die Sache komplizierter machen könnte. Er entschied sich aber letztlich für eine andere These: Dass jeweils Paare aus positiven und negativen Ladungen sich schnell wie ein Tanzpaar drehten und nur ihre Anziehung sie zusammenhielten oder auch nicht. In letzterem Fall entstünden Strahlungen.

> Während Lenard das planetare Atom nur durch einen Schüler kurz in einer populärwissenschaftlichen Zeitschrift erwähnen ließ, wurde es für Wilhelm Meyer zum steten immer weiter ausgeschmückten Thema. 1909 schilderte er in der Zeitschrift Natur seinen Lesern, wie er im Angesicht eines Sonnenuntergangs auf Capri, wo Meyer wirklich einige Zeit wohnte, über die »aufflimmernden Lichtpünktchen auf dem Zinkblendenschirm« nachsann, die das Radium hervorruft. Diese seien wie »neue Sterne«, »die, unter dem Anprall der hinausgeschleuderten Weltkörper von Atomgröße erglühend, in schöpferischem Akte zu neuer lebendiger Bewegung aufgerüttelt wurden«. Nichts würde dagegen sprechen, so Meyer, »dass die ganze Milchstraße mit ihren Millionen Sonnen auch nur ein Atom ist in einer Welt, die

Anzeige



Die Vorstellung von Atomen als kleine Kügelchen findet sich unter anderem in René Descartes' Prinzipien der Philosophie von 1644. Da er die Existenz eines Vakuums ablehnte, postulierte er einen weiteren Stoff, der die Zwischräume ausfüllen würde.

eben Sonnen zu Atomen gemacht hat«. Bei so viel sprachlichem Feuerwerk nimmt es nicht wunder, dass die Artikel der Naturwissenschaftler selbst nüchterner ausfielen.

#### **Skeptische Wissenschaft**

Während in den populärwissenschaftlichen Zeitschriften die planetaren Spekulationen einige Verbreitung fanden, waren die Naturwissenschaftler erst noch dabei, ihren Gedankenaustausch untereinander besser zu organisieren. Ferdinand Springer hatte die Idee, mit einem neuen Organ den Austausch gesicherten Wissens zwischen den immer weiter spezialisierten Forschern zu verbessern. Vor genau hundert Jahren erschienen Die Naturwissenschaften zum ersten Mal und natürlich war das Thema Atom darin enthalten. Aber nicht die Hauptvertreter der Physik, sondern meist jüngere Forscher und Privatdozenten verstanden Ferdinand Springers Forderung nach kritischer Berichterstattung meist einfach so, dass sie ihre eigenen Vorstellungen verbreiteten

So finden sich hier in kurzem Abstand sehr verschiedene Darstellungen über den Aufbau der Atome. Kasimir Fajans' im März 1913 abgedruckter Habilitationsvortrag betrachtete eine Reihe von Ergebnissen und Spekulationen über die Atomstruktur und erwähnte zumindest die jahrelang ignorierten Ergebnisse von Rutherford. Doch dann entschied er sich dafür, lieber die etwa zur gleichen Zeit erschienenen Ergebnisse von John Nicholson darzustellen, nach denen alle Materie aus Wasserstoff und drei eigentümlichen Elementen bestünde, die Coronium, Nebulium und Protofluor hießen und heute längst vergessen sind. Hans Baerwald, ein ehemaliger Assistent Lenards, wiederum vertrat die Ansicht, dass weiterhin dessen rotierende »Dynamiden« das beste Modell seien. Selbst drei Jahre, nachdem sich das Bohr-Rutherfordsche Atom zwar herumgesprochen hatte, im Krieg aber offensichtlich in Deutschland für einen eigenen Artikel nicht akzeptabel war, meldete sich Ernst Gehrcke zu Wort. Der Mitarbeiter der Berliner Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, der später als ein erbitterter Gegner Einsteins auftreten sollte, erklärte der Fachöffentlichkeit, dass das Bohr'sche Atommodell noch Lücken hätte. Es gäbe jedenfalls mehr als ein Modell, das die Serienspektren erklärt, deren genaue Vorhersage ja

#### Zum Weiterlesen

Charlotte Bigg, Jochen Hennig (Hg.), Atombilder. Ikonografien des Atoms in Wissenschaft und Öffentlichkeit des 20. Jahrhunderts,

Arne Schirrmacher, »Einsicht in die Materie. Konjunkturen und Formen von Atombildern«, in: Gall. Alexander. Konstruieren. kommunizieren, präsentieren. Bilder von Wissenschaft und Technik. 2007, S. 109-145.

Sybilla Nikolow, Arne Schirrmacher, Wissenschaft und Öffentlichkeit als Ressourcen füreinander. Studien zur Wissenschaftsgeschichte im 20. Jahrhundert, 2007.

Arne Schirrmacher, »Von der Geschossbahn zum Atomorbital? Möglichkeiten der Mobilisierung von Kriegs- und Grundlagenforschung füreinander in Frankreich, Großbritannien und Deutschland, 1914-1924«, in: Matthias Berg, Jens Thiel, Peter Walther, Mit Feder und Schwert. Militär und Wissenschaft -Wissenschaftler und Krieg, 2009, S. 155-175.

### RADSPIELER

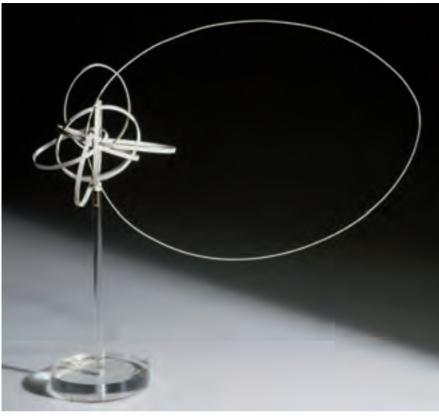
Seit 1841



Ausgesuchte Möbel, Stoffe, Glas, Geschirr und alles. was Wohnen schön macht.



F. Radspieler & Comp. Nachf. Hackenstraße 7 · 80331 München Telefon 089/235098-0 Fax 089/264217 mail@radspieler-muenchen.de www.radspieler.com



Bohrs größter Erfolg war. Gehrcke reklamierte nun, dass sein System von Ringen aus Ȁthervakuum« mindestens die gleiche Glaubwürdigkeit beanspruchen dürfe wie Bohrs Modell.

#### Die Öffentlichkeit als Erklärungsinstanz

Es mag überraschen, dass sich nicht nur bei den populärwissenschaftlichen Spekulationen, sondern auch in den zusammenfassenden Darstellungen der Physiker für ein allgemeineres Wissenschaftlerpublikum bis etwa 1918 Bohrs Atom nicht unumstritten war. Wie es aussieht, brauchte selbst ein empirisch so erfolgreiches Modell wie das Bohr'sche jemanden, der es auch durchsetzt. Was in den Naturwissenschaften nicht so recht glückte, schaffte Arnold Sommerfeld mit seinen Vorlesungen für Hörer aller Fächer an der Münchner Universität, dem daraus hervorgegangenen Buch Atombau und Spektrallinien und den Modellen für das Deutsche Museum (vgl. Eckert, S. 12 ff.).

Ein gutes Beispiel dafür, was anschauliche Bilder für die moderne Wissenschaft leisten können und wo ihre Grenzen liegen, gab Sommerfeld in einem Beitrag für die populäre Zeitschrift Umschau, die inhaltlich etwas anspruchsvoller war als etwa Kosmos oder Natur. Was der Physiker vom Atom messen kann, sind vor allem die Spektrallinien der ausgesandten Strahlung. Wenn nun das Atom ein kleines Planetensystem ist, so liegt nahe, dass, Ȋhnlich etwa wie von dem Propeller eines Fliegermotors je nach der Schnelligkeit seiner Umdrehung Schall von einer gewissen Tonhöhe ausgeht«, die Farbe des Lichtes der Umlaufdauer des Elektrons um den Kern entsprechen müsste. Doch halt! »Wir dürfen aber un-

Modell eines Natrium-Atoms basierend auf der Atomtheorie von Niels Bohr. Um den zentralen Kern kreisen die Elektronen auf definierten Bahnen (hier dargestellt durch Metallbänder).

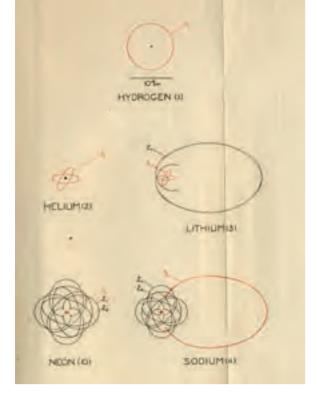
sere Alltagserfahrungen nicht so vertrauensvoll auf den Mikrokosmos des Atominneren übertragen«, warnt Sommerfeld seine Leser und vermittelt ihnen so, was der springende Punkt bei Bohr war, dass gerade dieser anschauliche Zusammenhang im Atom nicht gilt. Die Lichtfrequenzen berechnen sich nämlich nach einer Formel der Quantentheorie, nicht der klassischen Mechanik. Wir sehen an diesem Beispiel, wie der Versuch, einer breiten Öffentlichkeit mit einfachen Analogien die moderne Physik zu erklären, zugleich dabei helfen kann, die wesentlichen neuen Punkte auch in der Wissenschaft möglichst klar zu erkennen.

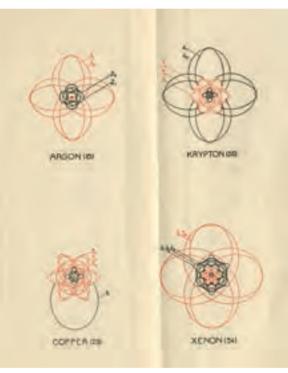
#### Atombilder und nationale Stile

Die Rezeption von Bohrs Modell, die ja insbesondere in den Jahren des Ersten Weltkriegs stattfand, war in verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich, genauso wie die Analogien, die zur Weiterentwicklung oder Popularisierung genutzt wurden. Eine eigentümliche Verquickung von Kriegszeit und Atommodell findet sich nicht nur in Sommerfelds kriegsbedingt verändertem Publikum seiner Vorlesungen, sondern auch in der Anwendung der Wissenschaft für den Krieg: Die Methoden, mit denen bei komplizierteren Atomen die Bahnen der Elektronen berechnet wurden, hatten sich weiterentwickelt, weil sie die gleichen waren, die die Physiker im Krieg benötigten, um die Geschossbahnen zu berechnen.

Insbesondere der junge britische Physiker Douglas Hartree hatte sich hier Meriten verdient, und er sollte es sein, der die Bahnen für die Atommodelle berechnete, die William Bragg 1923 anfertigen ließ. Sie waren das Pendant zu denen im Deutschen Museum nach Sommerfelds Plänen, aber sie betonten ganz andere Qualitäten. Während Sommerfeld sich Gedanken über die Visualisierung der elektrischen Kräfte und Feldlinien machte, konzentrierten sich die Briten auf die Geometrie der ineinanderliegenden elliptischen Bahnen. Bohr selbst ließ zwar keine dreidimensionalen Modelle herstellen, aber Tafeln mit eher schematischen Bahnkonstellationen. Und die Franzosen? Hatte nicht Perrin den besten Grund, seine alte Hypothese in einem Modell darzustellen?

Den dreidimensionalen Modellen, die in Deutschland und England in der Zeit nach der Akzeptanz von Bohrs Atommodell und vor den neuen Entwicklungen der Quantenmechanik angefertigt wurden, kommt unbestreitbar ein großer





Diese von Niels Bohr selbst verwendeten Schemazeichnungen sind in dem Buch seiner Schüler Hendrik Kramers und Helge Holst Das Atom und die Bohr'sche Theorie seines Raues von 1925 zu finden.

Einfluss auf das öffentliche Bild des Atoms im 20. Jahrhundert zu. Sie haben sich hier in der Ikonografie der Wissenschaft eingeschrieben, dominieren bis heute die Vorstellungswelt vieler und widersetzen sich standhaft der überfälligen Revision durch die etablierten Ergebnisse der Quantentheorie.

Doch das Entstehen dieser Bildlichkeit war nicht zwangsläufig. In Deutschland bestand ein gewisses Zeitfenster dafür etwa von 1917 bis 1925, vorher war das Modell auch in der Wissenschaft noch zu umstritten, und 1925 zeigte Heisenbergs Quantenmechanik, dass von Bahnen im Mikrokosmos sinnvoll gar nicht die Rede sein kann, die Quantenwelt war eine der Sprünge und Wahrscheinlichkeiten. In Großbritannien war erst nach 1922 eine Akzeptanz für entsprechende Modelle da, denn sowohl Rutherford wie Thomson standen dem Modell lange skeptisch gegenüber. Und der Blick nach



#### Dr. Arne Schirrmacher

war längere Zeit Mitarbeiter des Forschungsinstituts des Deutschen Museums und ist seit 2010 als Wissenschaftshistoriker an der Humboldt-Universität zu Berlin tätig. Derzeit erforscht er als Gastprofessor des interdisziplinären Programms »Vielfalt der Wissensformen« neue Lern- und Lehrformen im bologna.lab der Humboldt-Universität.

Frankreich zeigt schließlich, dass die offensichtlich zu späte Rezeption des Bohr-Modells zusammen mit einer späten Etablierung von Vermittlungsinstitutionen wie dem erst 1937 eröffneten Palais de la Découverte dazu führte, dass entsprechende Modelle hier nicht zu finden sind. Stattdessen dominierten Analogien zur Wellentheorie, denn es war der Franzose Louis de Broglie, der die Hypothese der Materiewellen aufgestellt hatte.

Mit dem Durchbruch, den die Quantenmechanik in Form der Schrödinger-Gleichung und der Heisenberg'schen Unschärferelation für die Erklärung der Atome bedeutete, waren für die Wissenschaft streng genommen alle Atombilder passé. Aber Bilder und Modelle haben ihre eigene Beharrungskraft und ihre eigenen symbolischen Qualitäten. Selbst die Wissenschaftler konnten sich ihres Reizes kaum entziehen. Als Niels Bohr nach dem Zweiten Weltkrieg im Londoner Science Museum die alten Atommodelle wiedersah, die vor über zwanzig Jahren hergestellt worden waren, so berichtete Bragg dem Museumsdirektor, habe Bohr sie fasziniert angestarrt. Dennoch sollte ihnen nun ein Text hinzugefügt werden, dass es lediglich historische Modelle aus den frühen Zwanzigerjahren seien.

Interessanterweise ist Bohrs Atom aber auch in der heutigen Physik noch nicht ganz ad acta gelegt (siehe dazu den Beitrag von Christian Sicka). Da die sogenannte »alte« Quantentheorie mit Hilfe solcher Modelle zumindest die Spektren erstaunlich gut erklären konnte, enthalten ihre anschaulichen Bilder doch ein Körnchen Wahrheit. So lassen sie sich als Näherungsmethoden verwenden, wenn die exakte quantenmechanische Berechnung zu kompliziert wird. Auch gibt es im Weltall energetisch angeregte Atome, die Rydbergatome, die sich genau nach Bohrs Modell verhalten. Und vor einigen Jahren hat eine Gruppe von Physikern um den Nobelpreisträger Dudley Herschbach gezeigt, wie sich auf der Grundlage von Bohrs Vorstellungen einfache und erstaunlich genaue Methoden zur Berechnung chemischer Bindungen entwickeln lassen. Die Physik-Website der renommierten Zeitschrift *Nature* titelte passend dazu: »Bohr'n again«.



Modell eines Natrium-Atoms basierend auf der Atomtheorie von Niels Bohr. Um den zentralen Kern kreisen die Elektronen auf definierten Bahnen (hier dargestellt durch Metallbänder).

Bohrs größter Erfolg war. Gehrcke reklamierte nun, dass sein System von Ringen aus Ȁthervakuum« mindestens die gleiche Glaubwürdigkeit beanspruchen dürfe wie Bohrs Modell.

#### Die Öffentlichkeit als Erklärungsinstanz

Es mag überraschen, dass sich nicht nur bei den populärwissenschaftlichen Spekulationen, sondern auch in den zusammenfassenden Darstellungen der Physiker für ein allgemeineres Wissenschaftlerpublikum bis etwa 1918 Bohrs Atom nicht unumstritten war. Wie es aussieht, brauchte selbst ein empirisch so erfolgreiches Modell wie das Bohr'sche jemanden, der es auch durchsetzt. Was in den *Naturwissenschaften* nicht so recht glückte, schaffte Arnold Sommerfeld mit seinen Vorlesungen für Hörer aller Fächer an der Münchner Universität, dem daraus hervorgegangenen Buch *Atombau und Spektrallinien* und den Modellen für das Deutsche Museum (vgl. Eckert, S. 12 ff.).

Ein gutes Beispiel dafür, was anschauliche Bilder für die moderne Wissenschaft leisten können und wo ihre Grenzen liegen, gab Sommerfeld in einem Beitrag für die populäre Zeitschrift *Umschau*, die inhaltlich etwas anspruchsvoller war als etwa *Kosmos* oder *Natur*. Was der Physiker vom Atom messen kann, sind vor allem die Spektrallinien der ausgesandten Strahlung. Wenn nun das Atom ein kleines Planetensystem ist, so liegt nahe, dass, Ȋhnlich etwa wie von dem Propeller eines Fliegermotors je nach der Schnelligkeit seiner Umdrehung Schall von einer gewissen Tonhöhe ausgeht«, die Farbe des Lichtes der Umlaufdauer des Elektrons um den Kern entsprechen müsste. Doch halt! »Wir dürfen aber un-

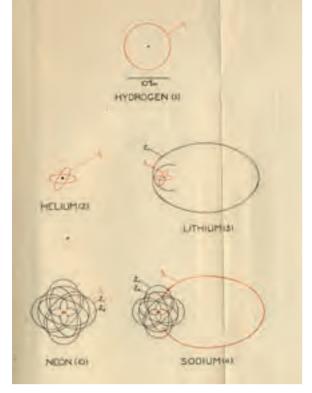
sere Alltagserfahrungen nicht so vertrauensvoll auf den Mikrokosmos des Atominneren übertragen«, warnt Sommerfeld seine Leser und vermittelt ihnen so, was der springende Punkt bei Bohr war, dass gerade dieser anschauliche Zusammenhang im Atom nicht gilt. Die Lichtfrequenzen berechnen sich nämlich nach einer Formel der Quantentheorie, nicht der klassischen Mechanik. Wir sehen an diesem Beispiel, wie der Versuch, einer breiten Öffentlichkeit mit einfachen Analogien die moderne Physik zu erklären, zugleich dabei helfen kann, die wesentlichen neuen Punkte auch in der Wissenschaft möglichst klar zu erkennen.

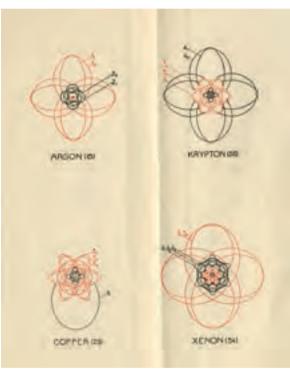
#### **Atombilder und nationale Stile**

Die Rezeption von Bohrs Modell, die ja insbesondere in den Jahren des Ersten Weltkriegs stattfand, war in verschiedenen Ländern sehr unterschiedlich, genauso wie die Analogien, die zur Weiterentwicklung oder Popularisierung genutzt wurden. Eine eigentümliche Verquickung von Kriegszeit und Atommodell findet sich nicht nur in Sommerfelds kriegsbedingt verändertem Publikum seiner Vorlesungen, sondern auch in der Anwendung der Wissenschaft für den Krieg: Die Methoden, mit denen bei komplizierteren Atomen die Bahnen der Elektronen berechnet wurden, hatten sich weiterentwickelt, weil sie die gleichen waren, die die Physiker im Krieg benötigten, um die Geschossbahnen zu berechnen.

Insbesondere der junge britische Physiker Douglas Hartree hatte sich hier Meriten verdient, und er sollte es sein, der die Bahnen für die Atommodelle berechnete, die William Bragg 1923 anfertigen ließ. Sie waren das Pendant zu denen im Deutschen Museum nach Sommerfelds Plänen, aber sie betonten ganz andere Qualitäten. Während Sommerfeld sich Gedanken über die Visualisierung der elektrischen Kräfte und Feldlinien machte, konzentrierten sich die Briten auf die Geometrie der ineinanderliegenden elliptischen Bahnen. Bohr selbst ließ zwar keine dreidimensionalen Modelle herstellen, aber Tafeln mit eher schematischen Bahnkonstellationen. Und die Franzosen? Hatte nicht Perrin den besten Grund, seine alte Hypothese in einem Modell darzustellen?

Den dreidimensionalen Modellen, die in Deutschland und England in der Zeit nach der Akzeptanz von Bohrs Atommodell und vor den neuen Entwicklungen der Quantenmechanik angefertigt wurden, kommt unbestreitbar ein großer





Diese von Niels Bohr selbst verwendeten Schemazeichnungen sind in dem Buch seiner Schüler Hendrik Kramers und Helge Holst Das Atom und die Bohr'sche Theorie seines Raues von 1925 zu finden.

Einfluss auf das öffentliche Bild des Atoms im 20. Jahrhundert zu. Sie haben sich hier in der Ikonografie der Wissenschaft eingeschrieben, dominieren bis heute die Vorstellungswelt vieler und widersetzen sich standhaft der überfälligen Revision durch die etablierten Ergebnisse der Quantentheorie.

Doch das Entstehen dieser Bildlichkeit war nicht zwangsläufig. In Deutschland bestand ein gewisses Zeitfenster dafür etwa von 1917 bis 1925, vorher war das Modell auch in der Wissenschaft noch zu umstritten, und 1925 zeigte Heisenbergs Quantenmechanik, dass von Bahnen im Mikrokosmos sinnvoll gar nicht die Rede sein kann, die Quantenwelt war eine der Sprünge und Wahrscheinlichkeiten. In Großbritannien war erst nach 1922 eine Akzeptanz für entsprechende Modelle da, denn sowohl Rutherford wie Thomson standen dem Modell lange skeptisch gegenüber. Und der Blick nach



#### Dr. Arne Schirrmacher

war längere Zeit Mitarbeiter des Forschungsinstituts des Deutschen Museums und ist seit 2010 als Wissenschaftshistoriker an der Humboldt-Universität zu Berlin tätig. Derzeit erforscht er als Gastprofessor des interdisziplinären Programms »Vielfalt der Wissensformen« neue Lern- und Lehrformen im bologna.lab der Humboldt-Universität.

Frankreich zeigt schließlich, dass die offensichtlich zu späte Rezeption des Bohr-Modells zusammen mit einer späten Etablierung von Vermittlungsinstitutionen wie dem erst 1937 eröffneten Palais de la Découverte dazu führte, dass entsprechende Modelle hier nicht zu finden sind. Stattdessen dominierten Analogien zur Wellentheorie, denn es war der Franzose Louis de Broglie, der die Hypothese der Materiewellen aufgestellt hatte.

Mit dem Durchbruch, den die Quantenmechanik in Form der Schrödinger-Gleichung und der Heisenberg'schen Unschärferelation für die Erklärung der Atome bedeutete, waren für die Wissenschaft streng genommen alle Atombilder passé. Aber Bilder und Modell haben ihre eigene Beharrungskraft und ihre eigenen symbolischen Qualitäten. Selbst die Wissenschaftler konnten sich ihres Reizes kaum entziehen. Als Niels Bohr nach dem Zweiten Weltkrieg im Londoner Science Museum die alten Atommodelle wiedersah, die vor über zwanzig Jahren hergestellt worden waren, so berichtete Bragg dem Museumsdirektor, hätte Bohr sie fasziniert angestarrt. Dennoch sollte ihnen nun ein Text hinzugefügt werden, dass es lediglich historische Modelle aus den frühen Zwanzigerjahren seien.

Interessanterweise ist Bohrs Atom aber auch in der heutigen Physik noch nicht ganz ad acta gelegt (siehe dazu den Beitrag von Christian Sicka). Da die sogenannte »alte« Quantentheorie mit Hilfe solcher Modelle zumindest die Spektren erstaunlich gut erklären konnte, enthalten ihre anschaulichen Bilder doch ein Körnchen Wahrheit. So lassen sie sich als Näherungsmethoden verwenden, wenn die exakte quantenmechanische Berechnung zu kompliziert wird. Auch gibt es im Weltall energetisch angeregte Atome, die Rydberg-Atome, die sich genau nach Bohrs Modell verhalten. Und vor einigen Jahren hat eine Gruppe von Physikern um den Nobelpreisträger Dudley Herschbach gezeigt, wie sich auf der Grundlage von Bohrs Vorstellungen einfache und erstaunlich genaue Methoden zur Berechnung chemischer Bindungen entwickeln lassen. Die Physik-Website der renommierten Zeitschrift *Nature* titelte passend dazu: »Bohr'n again«.



Abbildungen: Visum: IAEA: wikipedia

Als weithin sichtbares
Zeichen des Atomzeitalters
wurde zur Weltausstellung
1958 das Atomium
in Brüssel errichtet.

Das Bild vom Atom wird in der Öffentlichkeit nicht nur durch Modelle, sondern auch durch Embleme und Zeichen geprägt. Die Entwicklung dieser Bilder spiegelt die sich verändernde Einstellung zum Atom wider. von Michael Schüring

m die Vorgänge innerhalb des Atoms zu erklären, hatte sich die Forschung vor gut hundert Jahren mit Modellen beholfen, die die physikalischen Sachverhalte vereinfachten. Dieser Vereinfachung folgten auch die Grafiken und Symbole, mit denen man operierte. Mochten die Experten sich hauptsächlich mit den mathematischen Darstellungsformen befassen, mit deren Hilfe man sich die Welt der Atome erschließen konnte, so drängten die kulturellen Aspekte der Eroberung des Unsichtbaren auf eine Visualisierung. Anders als in der Mikroskopie, die die Welt der Kleinstlebewesen und ihre Bedeutung für die Medizin zugänglich gemacht hatte, gab es jedoch kein Hilfsmittel für die Physiologie des menschlichen Sehens, mit dem man bis zu den Atomen vordringen konnte. Man griff daher zunächst auf die Modelle der Himmelsmechanik zurück, also auf Orbitalstrukturen und Planetenbahnen (siehe dazu die Beiträge von John Heilbron und Arne Schirrmacher in diesem Heft). Damit wurde ungewollt suggeriert, dass eine umfassende kosmische Ordnung im Großen wie im Kleinen greift, obwohl doch das Eigentümliche der Atomphysik darin besteht, dass sie anderen Gesetzen gehorcht als die Bewegung der großen Himmelskörper. Bei der grafischen Darstellung moderner physikalischer Sachverhalte sind kulturelle Missverständnisse kaum zu vermeiden. Trotzdem haben wir heute immer noch die eingängige Symbolik der kreisenden Körper vor Augen, wenn das Atom seinen Auftritt in der Öffentlichkeit hat. Das für uns sinnlich Ungreifbare wird somit in eine Sphäre der Anschaulichkeit zurückgeholt.

### »Atoms for Peace«

Für die Sache der Öffentlichkeitsarbeit von Behörden und der Betreiber atomarer Anlagen war das natürlich hilfreich. Mit der Kommerzialisierung der Nukleartechnologie infolge der Atoms for Peace Konferenz 1955 in Genf erlangte das Orbitalmodell einen hohen Grad von öffentlicher Sichtbarkeit. Bezeichnend ist dabei seine ständige Nachbarschaft zu älteren und vertrauten Symbolen technischer Weltgestaltung und materiellen Wohlstands. Davon zeugt schon das Wappen der amerikanischen Delegation auf der Genfer Konferenz selbst. Wir sehen in der Mitte ein stilisiertes vierbahniges Atommodell. Es handelt sich dabei um das Siegel der 1949 gegründeten amerikanischen Atomic Energy Commission. Es befindet sich in Nachbarschaft zu einem Mikroskop, einem Hermesstab (für Wirtschaft und Handel), einer Getreidegarbe und einem Zahnrad. Das Atom steht hier also im Zentrum einer Symbolkonstellation, die die gesamte moderne Arbeitswelt repräsentiert. Dabei ist zu beachten, dass es im Falle des Hermesstabes in Amerika eine Bedeutungsverschiebung bzw. Überschneidung zum Äskulapstab gibt, durch den auch der Bereich der Medizin miteinbezogen ist.

Die Ikonografie entsprach den hochgesteckten Erwartungen der damaligen Zeit. Damals meinten die Befürworter der Nukleartechnologie, dass diese allein Fortschritt, Wohlstand und Sicherheit garantiere. Alle Techniken der Weltgestaltung und Daseinsfürsorge schienen an der Schwelle zu einem neuen Zeitalter zu stehen. In abgewandelter Form, nämlich asymmetrisch und unter Berücksichtigung mehrerer Bahnebenen, wurde das Orbitalmodell dann auch zum Symbol der heutigen Internationalen Atomenergiebehörde in Wien (IAEA). Sie ist eine Unterorganisation der Vereinten Nationen und daher sind in Anlehnung an deren Flagge als heraldisches Element Olivenzweige um das Zeichen gewunden. Die Einhegung des Atoms durch die Symbole des Friedens ist damit in ihrer Programmatik sowohl augenfällig als auch sinnfällig.

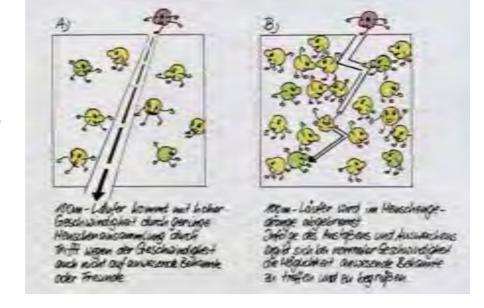
Freilich ist mit der Wahl des Orbitalmodelles mit seinen scheinbar eingängigen Bewegungsabläufen auch eine Entscheidung gegen die Abbildung eines ganz wesentlichen Sachverhaltes getroffen worden: Was man nicht sieht, und was doch für die technische Nutzung der Atomphysik ent-





Bild oben: Das Wappen der amerikanischen Delegation (oben) auf der Genfer Konferenz 1955 zeigt in der Mitte ein stillisiertes vierbahniges Atommodell.

Bild unten: Das Orbitalmodell wurde auch zum Symbol der heutigen Internationalen Atomenergiebehörde in Wien (IAEA). Mit niedlichen Comics versuchten Energiekonzerne wie die Kraftwerk Union (KWU) ihre Kunden von der Harmlosigkeit der Atomenergie zu überzeugen.



scheidend ist, ist die Radioaktivität und die damit verbundene ionisierende Strahlung. In vielen Abbildungen sieht man zwar auch grafische Darstellungen von Strahlen, meist aber nur in etwas dürftiger Form als gezackte Linien mit einem Richtungspfeil, der vom Atom wegführt. Es ist wohl einfacher, das Atom als Ensemble sphärischer Körper abzubilden, deren Wechselwirkungen vordergründig mit Objekten der Alltagserfahrung zu korrespondieren scheinen, mit Billardkugeln oder Golfbällen, die nach den vertrauten Regeln der Mechanik durch unsere Lebenswelt rollen.

Auch in den Werbebroschüren der Atomindustrie ist dieses Bild beliebt. Es korrespondiert dabei mit dem in diesen Kontexten bevorzugten Begriffsfeld des »Kernes«, welches ja nicht zufällig mehr Lebensnähe, Natürlichkeit und Gesundheit suggeriert als das griechische Fremdwort »Atom«. Die »Kernspaltung« ist hier in ihrer grafischen Umsetzung als Vorgang mit »greifbaren« Objekten dargestellt und damit ins Wahrnehmungsfeld der Menschen zurückgeholt. Gelegentlich folgt dann der nächste Schritt zur Anthropomorphisierung, wie etwa in einer Broschüre der Kraftwerk Union, wo die beteiligten Nuklide innerhalb der Reaktoren mit menschlichen Zügen versehen wurden und Attribute absichtsvollen Handelns an den Tag legten.

Elemente der Verniedlichung, wie man sie bereits aus den 50er Jahren kannte, opferten die buchstäbliche »Undurchschaubarkeit« der Sachverhalte einem pädagogischen Impuls, der freilich mit Ausblendung und Verharmlosung operierte.

### Ikonen der Gefahr

Dabei musste den Experten in anderen Kontexten sehr wohl an einer grafisch eingängigen Darstellung von Risiken gelegen sein. Denn die Tatsache, dass man die Atome und die von radioaktiven Substanzen ausgehende Strahlung nicht sehen kann, war nicht nur ein Problem für die Öffentlichkeitsarbeit der Wissenschaftler und der Industrie. Sie stellte auch eine Herausforderung an jenen Orten dar, wo vor den Gefahren der Strahlung gewarnt werden musste, also in Produktionsstätten, Laboratorien und Kraftwerken. Schließlich können auch kleinere Dosen gesundheitsschädlich sein. Das ist besonders tückisch, weil der Körper sie nicht spürt, wie jeder bestätigen kann, von dem schon einmal eine Röntgenaufnahme gemacht worden ist.



Anfangs warnte ein magentafarbenes Kleeblatt auf blauem Grund vor der Gefahr radioaktiver Strahlung.

### Zum Weiterlesen:

Charlotte Bigg, Jochen Hennig (Hg.), Atombilder. Ikonographie des Atoms in Wissenschaft und Öffentlichkeit des 20. Jahrhunderts. 2009.

Charles Dunn, *Multigeneratio-nal Warning Signs*. Stanford University, http://large.stanford.edu/courses/2011/ph241/dunn2/ (14. Mai 2013)

Linda Lodding, *Drop it and Run! New Symbol Warns of Radiation Dangers and Aims to Save Lives*, IAEA Bulletin Volume 48, 2007, No. 2, S. 70 – 73, www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull4 82/pdfs/18RadSymbol.pdf (14. Mai 2013)

Rosemary Barret, Lloyd D. Stephens, *A Brief History of the International Danger Sign*. In: Health Physics, May 1979, 36 (5), S. 565–571.

Es galt also, eindeutige und plakative Warnsymbole zu schaffen, die mehrere Kriterien erfüllen mussten. Sie sollten überall bekannt und sofort erkannt werden, sie mussten sich eindeutig von anderen Gefahrensymbolen unterscheiden, und sie mussten jenseits der Sprachbarrieren wirksam sein. Idealerweise leuchtet ein Gefahrensymbol in kräftigen Farben und bedient sich eingängiger grafischer Mittel. Als man in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts vor allem in Europa und in den Vereinigten Staaten größere Anlagen zur Erforschung und Nutzung der Radioaktivität baute, griff man bei den Warnzeichen zunächst auf Farben und Symbole zurück, die man in der Hochspannungstechnik benutzte. Rot war seit jeher die universell eindeutige Warnfarbe gewesen, so auch im Straßenverkehr und im medizinischen Bereich, während das Blitzzeichen auf gefährliche Stromquellen hinwies. Und dennoch wurden diese vertrauten Symbole dem besonderen Gefahrencharakter der Strahlung nicht gerecht. Es mussten eindeutige Unterscheidungsmerkmale gefunden werden. Im Jahre 1946 begannen Wissenschaftler an der University of California in Berkeley über dieses Problem nachzudenken. Zunächst entwarf man ein Zeichen, das bereits die uns heute vertraute dreiblättrige Struktur mit einem Punkt in der Mitte benutzte. Allerdings war das Symbol, das »Trefoil«, in der Farbe Magenta gehalten, während der Hintergrund blau gefärbt war.

Der Grund für diese Farbwahl lag darin, so erinnerte sich ein beteiligter Wissenschaftler später, dass die Farbe Blau in dem dortigen Labor nur selten verwandt wurde, während Magenta vergleichsweise selten und teuer war und deshalb in anderen Kontexten kaum zur Anwendung kam. Allerdings verblasste Blau bei Anwendung unter freiem Himmel und war ja auch sonst kaum mit der Warnung vor Gefahren in Verbindung gebracht worden. Im Oak Ridge National Laboratory in Tennessee, das am Bau der Atombombe beteiligt gewesen war, hat sich daher die bis heute gängige Hintergrundfarbe Gelb durchgesetzt.

### Ein neues Warnsymbol

In jüngster Zeit allerdings stellten Experten der Internationale Atomenergiebehörde fest, dass das Zeichen aus globaler Perspektive nicht so bekannt geworden ist, wie man angenommen hatte. In Umfragen und Untersuchungen fand man



2001 wurde dieses neue Warnsymbol entwickelt, das international funktionieren soll.

heraus, dass beispielsweise in Ländern wie Brasilien, Kenia oder Indien nur 6 Prozent der Bevölkerung etwas mit dem dreiblättrigen Symbol anfangen konnten. Das war besonders dort fatal, wo sich ärmere Bevölkerungsschichten ihren Lebensunterhalt mit dem Sammeln von Schrott verdienten. So starben im Jahr 2000 drei thailändische Arbeiter, nachdem sie ein illegal in Bangkok deponiertes Kobalt-60-Strahlungsgerät, das in der Krebstherapie zum Einsatz gekommen war, ausschlachten wollten. Es stellte sich heraus, dass die auf dem Gerät angebrachten Warnhinweise, einschließlich des »Trefoils«, nicht erkannt oder beachtet worden waren. Das Ereignis machte als »Unfall von Samut Prakan« Schlagzeilen. Die internationale Atomenergiebehörde schickte daraufhin Experten nach Bangkok, die erkannten, dass es für »verwaiste« Strahlenquellen keine ausreichende Regulierung gegeben hatte.

Diesen und ähnliche Vorfälle nahmen die Mitgliedstaaten der IAEA im Jahr 2001 zum Anlass, den Entwurf eines neuen Warnsymbols in Auftrag zu geben. Experten aus verschiedenen Fachgebieten machten sich darüber Gedanken, wie man Menschen ohne ausreichende Vorkenntnisse, die zudem häufig nicht lesen konnten, vor den Gefahren der Strahlung warnen konnte. Das bisherige Symbol war dafür zu abstrakt. Das bekannte Meinungsforschungsinstitut Gallup führte im Jahr 2004 zusammen mit der Internationalen Organisation für Normung (ISO) eine Untersuchung durch, mit der man die Wirksamkeit eines neuen Symbols testen wollte. Elf Länder waren beteiligt: Brasilien, Mexiko, Marokko, Kenia, Saudi-Arabien, China, Indien, Thailand, Polen, die Ukraine und die Vereinigten Staaten. Damit war ein breites Spektrum von verschiedenen Sprachen und Kulturkreisen abgedeckt. Bei den über 1500 Teilnehmern achtete man auch darauf, dass sie aus verschiedenen Bevölkerungsschichten stammten und verschiedene Bildungsgrade aufwiesen. Auch Kinder im Vorschulalter waren miteinbezogen worden. Nach Experimenten mit verschiedensten Farben und Formen einigte man sich auf ein rotes Dreieck, in dem das bekannte »Trefoil« mit zusätzlichen Strahlensymbolen, ein Totenkopf sowie eine laufende Figur zu sehen waren.

Der Totenkopf hatte sich über die Jahrhunderte zu einem allgegenwärtigen Schreckbild entwickelt, ob nun in der Seefahrt, der Industrie oder der Populärkultur. Die Kombination



Das schwarz-gelbe Symbol ist nicht so bekannt, wie man zunächst angenommen hatte. In Schwellenländern wissen nur sechs Prozent der Bevölkerung, was das Zeichen bedeutet.

der drei Symbole bildete fast so etwas wie eine kleine Geschichte, kombiniert mit der Aufforderung, sich rasch von der Gefahrenquelle zu entfernen. Die Nuklearindustrie zeigte sich zunächst wenig begeistert von dem neuen Symbol. Sie fürchtete einen weiteren Akzeptanzverlust ihrer Technologie. Allerdings sollte das Warnzeichen nur als Ergänzung des früheren Symbols dienen und unter normalen Umständen auch nur dann sichtbar werden, wenn jemand versuchte, das entsprechende Gerät zu demontieren. Doch zeugt die Neuerung von der zunehmenden Verbreitung radioaktiver Gefahrenquellen in Bereiche, in denen ein sorgfältiger und informierter Umgang mit ihnen nicht mehr gewährleistet ist. Im Bemühen um eine universelle Kommunikation von Gefahren spiegelt sich die Universalität der Gefahr.

Das gilt nicht nur für entfernte Kulturräume, sondern auch für die zeitlich fernen Menschen, für diejenigen, die auch noch in Tausenden von Jahren die Gefahrenquellen erkennen müssen. Werden die von der Atomenergiebehörde entworfenen Zeichen dann noch verstanden? Wie soll man Endlagerstätten, die auch noch in weit entfernter Zukunft eine Bedrohung darstellen könnten, kennzeichnen? Eine Möglichkeit bestünde darin, weiterhin nach Symbolen zu suchen, die jenseits kultureller und historischer Grenzen der Einzigartigkeit der radioaktiven Gefahr gerecht werden. Eine zuverlässigere Methode wäre aber wohl die sorgfältige Archivierung und Überlieferung unserer Kenntnisse und Erfahrungen, auf dass man dereinst vor den warnenden Botschaften aus der Vergangenheit nicht genauso ratlos steht wie früher die Philologen vor den Hieroglyphen.

Damit hätte die Ikonografie des Atoms neben der globalen auch eine metahistorische Dimension erhalten. Die Fähigkeit, so weit in das Innere der Materie vorzudringen, schafft Symbole der Hoffnung und Boten der Angst, die weit über unseren kulturellen und geschichtlichen Horizont hinausweisen. Dieser Sachverhalt erlangte am Ende sogar eine kosmische Dimension: Eine vereinfachte Darstellung der Struktur des Wasserstoffatoms wurde auf jener berühmten Plakette verewigt, die die Sonde »Pioneer 10« über die Grenzen unseres Sonnensystems hinaus in die Weite des Weltraums trägt.

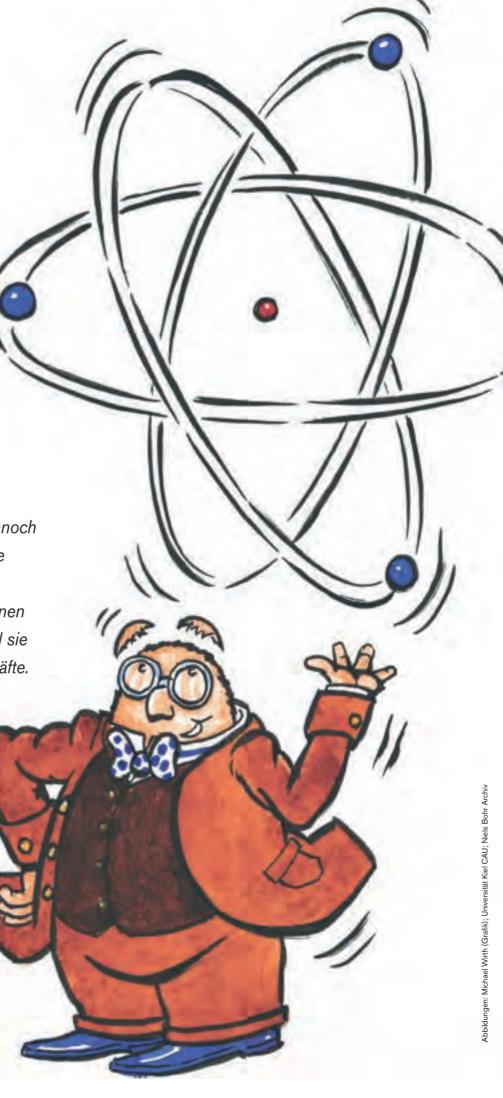


Dr. Michael Schüring arbeitet am Forschungsinstitut des Deutschen Museums zur Geschichte der Anti-Atomkraftbewegung.

# Klein, kleiner, Atom

Atome sind unvorstellbar klein – und dennoch sind sie die Bausteine unserer Welt. Viele Wissenschaftler haben sich auf die Jagd nach den Atomen gemacht – und sind ihnen letztlich auf die Spur gekommen. Obwohl sie winzig sind, bergen Atome ungeheure Kräfte.

Von Caroline Zörlein



### Den Atomen auf der Spur

eil Atome so unglaublich klein sind, ist es ziemlich schwierig zu beweisen, dass es sie überhaupt gibt. Selbst moderne Lichtmikroskope, mit denen man Pflanzenzellen oder Blutkörperchen untersuchen kann, reichen nicht aus, um eine Reise in die Welt der Atome zu unternehmen. Das liegt daran, dass Licht die Eigenschaft einer Welle hat – ähnlich wie Wasserwellen. Wenn man einen Stein in einen Teich wirft, entstehen dabei Wellenberge und -täler.



Der Abstand zwischen zwei Wellentälern heißt Wellenlänge: Mit sehr kurzwelligem ultravioletten Licht lassen sich noch zwei Punkte unterscheiden, die nur 0,0002 Millimeter auseinanderliegen. Atome sind jedoch viel kleiner. Deswegen müsste das Licht eine noch viel kürzere Wellenlänge haben. Das lässt sich zum Beispiel mit sogenannten Elektronenstrahlen bewerkstelligen: 1924 entdeckte der französische Physiker Louis de Broglie, dass diese sich im luftleeren Raum wie ein sehr kurzwelliger Lichtstrahl verhalten. Damit kam man den Atomen schon etwas näher.

Noch mehr Informationen über Atome und die Eigenschaften von Oberflächen lieferte das Rastertunnelmikroskop. Für die Entwicklung dieses Geräts erhielten die Physiker Gerd Binnig und Heinrich Rohrer 1986 den Nobelpreis. Dieses Mikroskop besitzt eine extrem feine Nadel, mit der eine Oberfläche Atom für Atom abgetastet werden kann, so dass sich die Wissenschaftler ein »Bild« davon machen können.

Der Kieler Physiker Gopakumar bei der Arbeit am Rastertunnel-

### **ZAHLEN AUS DER WELT DER ATOME**

- Der menschliche Körper besteht zu fast zwei Dritteln aus Wasser, abgekürzt mit der chemischen Formel H<sub>2</sub>O. Ein einziger Wassertropfen enthält mehr als 1,67 Trilliarden H<sub>2</sub>O-Moleküle.
- 24 Kilometer lang kann ein Faden werden, der sich aus einem einzigen **Gramm Gold** spinnen lässt. Gold ist das dehnbarste aller Metalle.
- 0,09 Gramm wiegt ein Liter Wasserstoff, das leichteste aller Elemente.

### Niels Bohr - Geschichten aus der Kindheit

uch große Forscher wie der Physiker Niels Bohr (1885–1962) haben Aganz klein angefangen. Aufgewachsen ist der berühmte Wissenschaftler und Nobelpreisträger in einer dänischen, bürgerlichen Familie. Niels Bohr hatte einen Bruder und eine Schwester. Während einer Straßenbahnfahrt erzählte die Mutter, Ellen Bohr, ihren beiden Söhnen eine derart fesselnde und interessante Geschichte, dass beide tief in Gedanken versunken der Erzählung lauschten - mit offenem Mund. Ein Fahrgast, der die Szene beobachtete, war bei dem Anblick fest davon überzeugt, die beiden Kinder seien geistesgestört. Er soll jedenfalls voller Anteilnahme ausgerufen haben: »Die arme Frau!«

Vom Vater Christian Bohr ist bekannt, dass er seine eigene Leidenschaft, das Malen, frühzeitig den Jungen nahebrachte. Wenn er mit ihnen gemeinsam eine der Kunstsammlungen in Kopenhagen besuchte, hatten sie sich vorher schon ein bestimmtes Gemälde ausgeguckt, das sie anschauen wollten. Zurück zu Hause versuchten sie es dann selbst zeichnerisch umzusetzen.

Schon in seiner Schulzeit war Niels Bohr ein außerordentlich schneller Denker. Aber er war auch handwerklich begabt. Er zerlegte beispielsweise sein Fahrrad komplett in seine Einzelteile und niemand konnte sich vorstellen, dass er daraus wieder ein funktionstüchtiges Ganzes zusammensetzen würde. Doch er schaffte es. Von da an übernahm er auch andere Reparaturen im Haushalt und schreckte selbst vor Uhren nicht zurück. Auch als weltberühmter theoretischer Physiker verfolgte er immer mit großem Interesse die Aufstellung neuer experimenteller Apparaturen.





V iele Menschen denken bei dem Wort »Atom« nicht nur an die kleinsten Bausteine und daran, wie sich die Welt zusammensetzt, sondern auch an Atomkraftwerke. Etwa dreißig Prozent des Stroms, der aus deutschen Steckdosen kommt, wird aus Atomkraft gewonnen.

Das größte natürliche Atom ist Uran. Es besteht aus besonders vielen Teilchen, die sich leicht voneinander lösen. Mit einer geringen Menge Uran lässt sich viel Strom erzeugen. Diese Reaktionen, bei denen sehr viel Energie frei wird, müssen penibel gesteuert und kontrolliert werden. Störungen in Atomkraftwerken können weitreichende Folgen haben. Das haben zum Beispiel die Reaktorkatastrophen von Fukushima im März 2011 und in Tschernobyl 1986 gezeigt. Denn bei der Zerteilung der Atome entsteht nicht nur Energie für die Stromgewinnung, sondern auch radioaktive Strahlung. Man kann sie sich als winzige Bruchstücke eines Atoms vorstellen. Es gibt sogenannte Alpha-, Beta- und Gammastrahlen. Strahlung kann man nicht spüren und sich nur schwer davor schützen. Wenn Menschen, Tiere oder Pflanzen zu viel radioaktiver Strahlung ausgesetzt sind, können sie schwer krank werden. Aber Atomkraftwerke haben noch einen weiteren Nachteil: Es ist kompliziert, den entstehenden und ebenfalls radioaktiven Müll zu entsorgen.

Einen Vorteil hat die Atomkraft jedoch auch: Im Gegensatz zu der Verbrennung von Kohle oder Öl entsteht kein Kohlendioxid, das unserer Erde einheizt und das Klima gefährdet. Derzeit wird in der Gesellschaft viel über den Nutzen und die Gefahren von Atomkraft diskutiert.



Atomkraft ist für unser Klima gut. Aber wenn bei einem Unfall radioaktive Strahlung frei wird, dann sind rasch große Gebiete für Jahrzehnte verseucht. Auch die Frage, wo der anfallende Müll gelagert werden kann, ist bis heute nicht geklärt. Deutschland hat sich aus diesem Grund für den Ausstieg aus der Atomenergie entschieden.

### Was unser Auge nicht sieht

Alles auf unserer Erde besteht aus Atomen: Tiere und Pflanzen, Wasser und Luft. Sogar wir Menschen sind aus ganz vielen einzelnen Atomen zusammengesetzt, von denen es mehr als hundert verschiedene Arten gibt: Sie heißen z. B. Kohlenstoff, Magnesium, Eisen oder Silber.

Atome können sich miteinander zu größeren Netzwerken verbinden – den Molekülen. Erst, wenn sich etwa zehn Trillionen Atome (Trillionen ist eine eins mit 18 Nullen) zusammengelagert haben, können wir sie mit unseren Augen erkennen. Die Bausteine, aus denen sich unsere Welt zusammensetzt, sind also unglaublich klein: Würde man zehn Millionen Kohlenstoffatome einzeln in einer Kette aufreihen, dann wäre sie gerade einmal anderthalb Millimeter lang.

Wegen ihrer geringen Größe ist es für die Menschen sehr schwierig, die Atome zu erforschen. Heute wissen wir, dass sie aus einem Atomkern und einer Atomhülle bestehen. Der Kern ist elektrisch positiv geladen – er ist sozusagen der »Pluspol« eines Atoms. In der Hülle befindet sich der »Minuspol« in Form der negativ geladenen Elektronen. Der Atomkern misst nur etwa ein Zehntausendstel des Atoms.

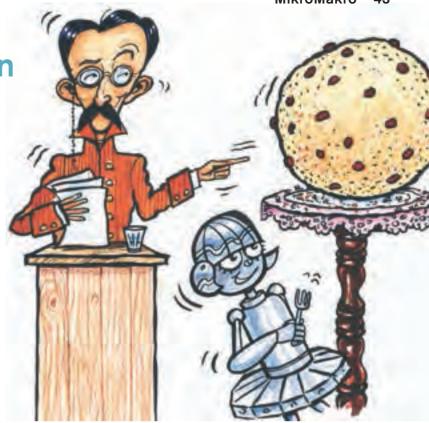
# Demokrit, Rosinenkuchen und Planeten

Woraus besteht die Welt und wie ist sie aufgebaut? Die Menschen machen sich schon länger Gedanken über solche Fragen. Der griechische Philosoph Demokrit überlegte bereits vor mehr als 2000 Jahren, ob sich Dinge unendlich oft teilen lassen. Oder ob es einen kleinsten Baustein gibt, etwas Unteilbares. Das griechische Wort dafür heißt atomos. Davon leitet sich das Wort Atom ab, also der kleinste Baustein. Um 400 vor Christus erklärte Demokrit, dass sich die gesamte Natur aus Atomen und Leerräumen zusammensetzt. Ihm standen allerdings noch nicht die technischen Mittel zur Verfügung, um das nachzuweisen.

Bis erste Experimente durchgeführt werden konnten, die diese Idee stützten, vergingen über 2000 Jahre: Wissenschaftler wie John Dalton entdeckten, dass sich die chemischen Elemente nur in bestimmten ganzzahligen Verhältnissen miteinander zu Molekülen zusammenfinden. Der Chemiker erklärte sich das so, dass die Elemente aus nicht mehr teilbaren kleinsten Einheiten bestehen – und so griff er im Jahr 1808 auf den griechischen Begriff Atom zurück.

### **Das Modell von Ernest Rutherford**

Später entdeckten Wissenschaftler, dass Atome aus kleineren Teilchen aufgebaut sind, den Protonen im Kern und den Elektronen in der »Hülle«. Und diese Elektronen ließen sich sogar von dem Atomkern trennen. Der britische Physiker Joseph Thomson führte 1897 Experimente durch, mit denen er zeigte, dass sich aus Atomen kleinere, elektrisch geladene Teilchen herausschlagen lassen: die Elektronen. Thomson stellte sich deswegen die Atome als winzige, gummiartige Kügelchen vor, in die die Elektronen wie Rosinen in einem Kuchenteig eingebettet sind. Dieses »Rosinenkuchen-Modell« bewährte sich jedoch nur kurze Zeit: Denn 1911 machte der Neuseeländer Ernest Rutherford ein Experiment und entdeckte, dass die Masse in den Atomen nicht so gleichmäßig verteilt ist, wie Thomson es annahm – im Gegenteil: Die Masse und auch die positive Ladung des Atoms bündelt sich auf einen winzigen Bereich, den Atomkern. Wo aber befinden sich dann die Elektronen? Beim Rutherfordschen Modell müssten die um den Kern kreisenden, negativ geladenen Teilchen irgendwann in den Kern gezogen werden. Damit wäre das Atom nicht stabil.



Nicht zum Verspeisen gedacht war das Rosinenkuchen-Modell des britischen Physikers Joseph Thomson. Er stellte sich die Atome als winzige Kügelchen vor. in denen die Elektronen wie Rosinen in weichem Kuchenteig liegen.

Erst der dänische Physiker **Niels Bohr** löste 1913 dieses Problem: Er schuf ein Atommodell, in dem sich die Elektronen nur in ganz bestimmten Bahnen aufhalten dürfen. Deswegen heißt seine Idee auch Planetenmodell. Denn genauso wie sich Erde, Mars oder Venus um die Sonne bewegen, kreisen die Elektronen um den Atomkern. Sie können auch zwischen diesen Bahnen hin- und herspringen: Ist diese Umlaufbahn weiter vom Kern weg, brauchen die Elektronen dafür Energie zum Beispiel in Form von Licht. Springen sie allerdings in eine näher liegende Bahn, geben sie Energie ab – und setzen dabei Licht frei.

Heute wissen wir, dass sogar der Atomkern weiter teilbar ist und aus den sogenannten Nukleonen besteht. Und selbst diese setzen sich aus noch kleineren Bausteinen zusammen: den »Quarks«. Atome sind also durchaus teilbar, dennoch spielen sie in chemischen Reaktionen die Rolle des kleinsten Grundbausteins.

### MITMACHEN UND GEWINNEN! Wir verlosen wieder schöne Bücher.

### Rätselfragen:

Wie wird das Atommodell genannt, das Joseph Thomson entwickelte?
a) Rosinenkuchen-Modell b) Planetenmodell c) Wellenmodell

Wo ist Niels Bohr aufgewachsen?

a) in Spanien b) in Österreich c) in Dänemark

Sende deine Lösung per E-Mail an:

mikromakro@publishnet.de

oder per Post an: Redaktion »MikroMakro«,

c/o publishNET

Parkstraße 29a, 80339 München

Einsendeschluss ist der 1. August 2013.

Bitte schreibe uns auch dein Alter (!) und die Adresse.

Auf Schatzsuche im Deutschen Museum

## Kugellager bewegen die Welt



m Mittelalter dienten Emporen in den Kirchen dazu, Standesunterschiede deutlich zu machen. Hier nahm in der Regel der Adel und die besonders angesehene Gesellschaft Platz. Auch in Museen baut man gerne Emporen ein. Eine solche Galerie erhöht die Ausstellungsfläche. Doch sucht man hier vergebens nach geadelten Exponaten. Diese zusätzlichen Etagen sind nicht beliebt. Nicht bei den Besuchern - und auch nicht bei den Museumsmachern. Das Treppensteigen schreckt ab. So fristet denn auch der Bereich »Maschinenelemente« im Erdgeschoss des Deutschen Museums ein Mauerblümchendasein. Dies liegt zum einen an der Empore, wo sie untergebracht ist, wohl aber auch an der sperrigen Bezeichnung. Unter »Maschinenelementen« versteht man die kleinsten Bauteile, aus denen Maschinen aufgebaut sind. Schrauben, Zahnräder, Federn, aber auch Gleit- und Wälzlager. Und gerade an diesen Exponaten gehen die meisten achtlos vorbei.

### Nadeln, Tonnen und Kegel

Dabei würde die Welt stillstehen ohne Kugellager. Wir benutzen sie völlig selbstverständlich. In einem durchschnittlichen deutschen Haushalt tun mehr als sechshundert große und kleine Lager ihren Dienst – von der elektrischen Zahnbürste bis hin zum Staubsauger, von der Küchenmaschine bis zur Schublade, vom Geschirrspüler bis zur Waschmaschine. In einem Auto finden sich über hundert solcher Lager. Sie sind die unsichtbaren Helden unseres Alltags. In jedem Mechanismus, der gedreht wird, wird durch ein Lager Reibung reduziert und damit Energie eingespart. Sei es in der heimischen Küche oder in der Spitzenindustrie wie der Luft- und Raumfahrt.

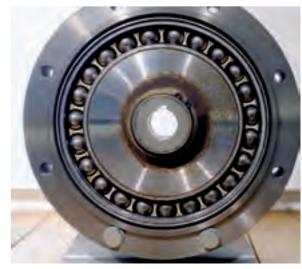
Was aber gewöhnlich gerne als Kugellager bezeichnet wird, stellt nur eine kleine Untergruppe der fachsprachlich Wälzlager genannten Lagerungen dar. Neben Kugeln kommen zur Lagerung auch Zylinder, Nadeln, Tonnen und Kegel zum Einsatz, die jeweils als Namensgeber für die einzelnen Typen fungieren.

Das Wälzlager verdankt seinen Namen und seinen Ursprung den »Rollkörpern« wie das Rundholz, das von den Ägyptern zur Zeit der Pharaonen benutzt wurde. Einige ägyptische Reliefs zeigen den Transport von enormen Steinblöcken, die zum Bau von Monumenten bestimmt



Bild oben: Ein Norm-Kugellager.

Bild rechts: Ein Harmonic-Drive-Getriebe. Antriebselement ist eine elliptische Scheibe. Sie verformt über ein Kugellager eine flexible Stahlbüchse mit Abtriebsflansch.



Das auffälligste Ausstellungsstück ist die Nachbildung der ersten Kugelschleifmaschine, die Friedrich Fischer 1883 in Schweinfurt erfunden hatte. So konnten gehärtete Stahlkugeln absolut gleichmäßig und rund geschliffen werden.

waren und die man auf Baumstämmen anstelle von Rollen gleiten ließ.

Auch wurden bei Ausgrabungen eines keltischen Streitwagens kleine zylinderförmige Buchenholzstücke in der Nähe der Radnaben entdeckt. Forscher schließen daraus, dass die Kelten bereits 700 v. Chr. das Zylinderrollenlager kannten. Im Gegensatz zu den Gleitlagern (Gleitreibung) rollten in diesen »Neuentwicklungen« Kugeln oder Zylinder ab, so dass nur der deutlich geringere Rollwiderstand zu überwinden war.

### Leonardo da Vinci entdeckt das Prinzip des Wälzlagers

Auch im Römischen Reich wurden Kugellager in Hebezeugen verwendet. Bei der Bergung eines Schiffes des Kaisers Caligula (Amtszeit 37–41 n. Chr.) auf dem Grund des Nemi-Sees in den Albaner Bergen Mittelitaliens wurden 1930 die Überreste einer Drehplattform gefunden, die belegen, dass Drucklager genutzt wurden, um Lasten aufzunehmen.

Das Wälzlager wurde aber auch vom Rad inspiriert. Es ist das Prinzip der Drehung, die sie miteinander vereint: beide werden gegen eine Achse gedreht. Es galt, das Problem zu lösen, durch Erhöhung der Drehzahl gegen die bei der Drehung entstehende Reibung anzugehen.

Leonardo da Vinci war der Erste, der ein Modell gezeichnet hat, das dieses Problem lösen konnte. Er kam 1490 zu dem Schluss, dass die Reibung weniger stark ist, wenn sich die Kugeln nicht berühren. Er entwickelte Trennelemente, die es den Kugeln ermöglichen sollten, sich frei zu bewegen. Das Universalgenie hat so zumindest das Prinzip des Wälzlagers entdeckt. Doch wurden seine Erkenntnisse genauso wenig umgesetzt wie die des Briten Philip Vaughan, der 1794 das Prinzip des Kugellagers neu entwickelte. Er hatte eine Achse für Pferdekutschen mit einem Kugellagerkranz in den Rillen der halbkreisförmigen Teilnuten versehen, die über diese Achse verteilt waren.

Das große Problem beim Bau dieser Lager waren die hohen Anforderungen an die Präzision der Kugeln. Die Kugeln – bei den Römern bestanden sie noch aus Holz, jetzt waren sie aus Stahl – mussten von Hand gefeilt und gerundet werden, was nur unzureichend gelang. Dies änderte sich erst 1883, als Friedrich Fischer in Schweinfurt die erste automatische Kugelschleifmaschine baute.







So wurde das absolut gleichmäßige Rundschleifen gehärteter Stahlkugeln auch in großen Stückzahlen ermöglicht. Er legte damit nicht nur den Grundstein für die moderne Wälzlagerindustrie, sondern machte mit dieser historischen Wende bei den Wälzlagern die industrielle Revolution erst möglich. Seine Kugellager wurden in alle Fahrzeuge und Maschinen der damaligen Zeit eingebaut und Eisenbahnen, Maschinen, aber auch das von seinem Vater Philipp Moritz Fischer 1853 erfundene Fahrrad mit Tretkurbel, fuhren leichter und besser.

Das Modell einer solchen Kugelschleifmaschine ist gleichfalls auf der Empore zu bewundern. Die paar Stufen hinauf lohnen die Mühe. ■

Bild oben: Auf der Empore finden sich neben den Maschinenelementen auch historische Modelle von Franz Reuleaux, dem Begründer der modernen Kinematik, sowie eine umfangreiche Schlossund Schlüsselsammlung aus zwei Jahrtausenden.

Bild unten: Wälzlager als Detail eines Vorführmodells.



DER AUTO

### Klaus Gertoberens war u. a. Wirtschaftsredakteur der Süddeutschen Zeitung und ist heute als Lektor und Publizist tätig.

### **GLEITEN UND WÄLZEN**

Die zentrale Funktion eines Lagers besteht darin, die Kräfte zwischen sich zueinander bewegenden Teilen weiterzuleiten, wobei es gleichzeitig dafür sorat, dass diese sich nicht berühren. Diese Eigenschaft macht das Lager zu einem unverzichtbaren Maschinenelement. Üblicherweise werden Lager auf Achsen oder Wellen montiert und in ein Lagergehäuse eingefügt. Grundsätzlich werden Gleit- und Wälzlager voneinander unterschieden. Bei Gleitlagern bewegen sich Achse und Lager auf einer Gleitfläche gegeneinander. Diese Gleitfläche kann eine feste Schicht sein, die auf das Lager aufgebracht wird - zum Beispiel aus Kunststoff oder Bronze. Sonst erfolgt die Trennung der zueinander bewegten Oberflächen durch einen Schmierfilm. Diese Lager laufen geräuscharm, eignen sich besonders, wenn hohe Belastungen bei verhältnismäßig langsamen Dreh- und Schwenkbewegungen aufgenommen werden müssen, sowie bei hohen und tiefen Temperaturen. Ein Wälzlager besteht in der Regel aus zwei Laufringen (Innen- und Außenring) bzw. Scheiben beim Axiallager, einem Satz Wälzkörper und einem Käfig. Der Käfig hat die Aufgaben, die Wälzkörper nach der Montage gleichmäßig über den Umfang verteilt zu führen und die gegenseitige Berührung der einzelnen Wälzkörper mit der doppelten Umfangsgeschwindigkeit zu verhindern. Im Betrieb rollen diese Wälzkörper zwischen Innen- und Außenring ab. Dies geschieht auf gehärteten Stahlflächen - den Laufbahnen. Die Reibung, die dabei auftritt, ist im Vergleich zum Gleitlager relativ gering. Für die vielen verschiedenen Anwendungen gibt es unterschiedliche Wälzlagerbauformen.

Im Groben werden Kugellager und Rollenlager unterschieden. Die Schmierung der Kugellager geschieht durch Öl oder Fett. Sie ist notwendig, um die Rollreibung zu minimieren, und ist in besonderem Maße für die Zuverlässigkeit einer Lagerung verantwortlich. So entsteht während der Drehbewegung ein Schmierfilm zwischen Kugel und Laufbahn, auf diese Weise wird ein direkter Rollkontakt, der sogenannte Trockenlauf, vermieden. Aus diesem Grund sind Wälzlager heutzutage stets ausreichend mit einem geeigneten Wälzlagerfett befüllt, wobei an den Stirnseiten montierte Deck- oder Dichtscheiben dafür sorgen, dass stets genug Schmierstoff im Lager vorhanden ist. Kugellager können sich sehr schnell drehen, aber nicht so große Belastungen aushalten. Deshalb sind sie etwa gut für Handbohrmaschinen. Große Rollenlager werden dagegen z.B. in Riesenrädern eingebaut, weil die sich wesentlich langsamer drehen und dabei gewaltige Kräfte aufnehmen können. Inzwischen gibt es eine internationale Norm für Wälzlager. So können sie überall auf der Welt problemlos ausgetauscht werden.

## Ein Wal fliegt zum Nordpol

Mit zwei neu entwickelten Flugbooten des Ingenieurs Claude Dornier wagte sich Roald Amundsen in das ewige Eis des Nordpols. Mit einem Flieger kehrten er und sein Team zurück.

Heute steht ein Nachbau des legendären »Wal« im Dornier Museum Friedrichshafen. von Barbara Grilz



ls sich am 18. Juli 2012 die Tore zum Dornier Museum in Friedrichshafen öffneten und mehrere Tieflader mit großen Holzkisten beladen in den Hof rollten, da war das fast wie im April 1925, als in Kings Bay auf Spitzbergen zwei Schiffe einliefen, die mit überdimensional großen Kisten beladen waren. Geliefert wurde in beiden Fällen die gleiche Gerätschaft, ein Flugboot - DAS Flugboot: der »Wal«.

Endlich war der langersehnte Flugapparat an seinem Bestimmungsort und in beiden Fällen hatte er eine lange Fahrt hinter sich. 1925, von Marina di Pisa über Tromsø nach Kings Bay und 2012, von Héreg (Ungarn) über Wien nach Friedrichshafen. Mit Brecheisen (1925) und Akkuschrauber (2012) machte man sich daran, die Kisten zu öffnen. Hilfsbereite Hände fassten an, wo es vonnöten war, und die Spezialisten begannen mit der Montage. Mit dem Zusammenbau näherte sich allerdings auch der Moment, an dem der »Wal« einer ganz neuen Bestimmung zugeführt werden sollte. 2012 hieß es: »... und wir schätzen uns glücklich, dem >Wal« in unserem Museum am Bodensee ein Zuhause geben zu können«, während es 1925 noch tönte: »Wir sind startbereit, Kapitän, sobald Sie es wünschen«.

Gehen wir 100 Jahre zurück: Die Welt war mobil geworden, die Motorisierung beflügelte zu immer neuen Wagnissen. 1909 überquerte Louis Blériot mit seinem Eindecker Blériot XI sogar den Ärmelkanal. 37 Minuten brauchte der Franzose für die 42,24 Kilometer von Calais nach Dover. Damit war

der Beweis erbracht, dass sich der Mensch zielgerichtet durch die Luft bewegen konnte. So mancher begann schon zu träumen, was mit so einem Flugapparat alles möglich sein könnte. So auch der Norweger und Polarforscher Roald Amundsen, der am 14. Dezember 1911 als erster Mensch den Südpol erreicht hatte und als Nächstes die Arktis erforschen wollte. In seinem Buch Die Jagd nach dem Nordpol schrieb er 1926: »An jenem Tage, da die Brüder Wright sich zum ersten Male zum Fluge erhoben, ging der Vorhang über einen neuen Akt der Menschheitsgeschichte auf. Viele haben sicher schon damals die Möglichkeiten erkannt, die sich ganz allgemein der Menschheit eröffneten. Aber nur wenige, glaube ich, standen einer so völligen Umwälzung ihrer Arbeitsmethoden gegenüber wie der Polarforscher.«

Auf der anderen Seite gab es Menschen, welche sich – fasziniert von den Fluggeräten - darüber Gedanken machten, wie man diese technische Errungenschaft verbessern konnte. Claude Dornier war einer dieser Männer. Als er 1910 als junger Maschinenbauingenieur seine neue Stelle bei der Luftschiffbau Zeppelin GmbH antrat, durfte der damals 26-jährige Claude sein ganzes Können in der Versuchsabteilung des Luftschiffbaus einbringen. 1913 gewann er ein Preisausschreiben des königlich-preußischen Kriegsministeriums für die beste Lösung einer drehbaren Luftschiffhalle. Claude Dornier erzählt in seinem Büchlein Aus meiner Ingenieurlaufbahn: »Für mich persönlich hatte die Sache einschnei-

Der norwegische Forscher Roald Amundsen drang mit zwei Dornier-Wal-Flugbooten bei seiner Nordpolexpedition 1925 fast bis zum 88. Breitengrad vor. (Diorama, 1958)

Die Crew vor dem Start der Nordpolexpedition. Hinten stehend v.l.n.r.: Bordmechaniker Leif Omdal, Pilot Leif Dietrichson, Pilot Hjalmar Riiser-Larsen, Dornier-Bordmechaniker Karl Feucht. Vorne sitzend v.l.n.r.: Expeditionsleiter Roald Amundsen, Millionärssohn Lincoln Ellsworth.

dende Bedeutung. Der Graf entschied, dass der Preis in voller Höhe mir auszuzahlen sei. Doch noch viel wichtiger für mich war, dass die Entscheidung getroffen wurde, für mich eine eigene Abteilung, die sogenannte Abteilung Do., einzurichten, deren verantwortlicher Leiter ich wurde.«

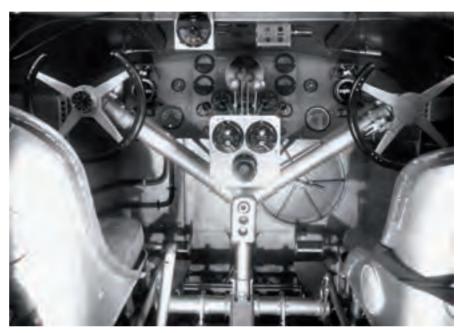
Dornier wurde engster Mitarbeiter und Vertrauter des Grafen Zeppelin, der ihn tief beeindruckte: »Einmal, es war spät abends, kam der Graf zu mir herüber. Er sah bleich und angegriffen aus. ›Dornier‹, sagte er, ›soeben habe ich ein Telegramm erhalten, dass das Luftschiff verbrannt ist.‹ Er hatte sich wieder an seinen Schreibtisch begeben. Ich stand wortlos vor ihm. Plötzlich ergriff er einen kleinen Gegenstand, der auf dem Tisch lag, und warf ihn zu Boden. Es war ein sogenanntes ›Stehaufchen‹. ›Dornier‹, sagte er, ›wir müssen es machen wie dieser kleiner Mann. Wieder aufstehen, weitermachen, wir dürfen uns durch nichts den Glauben an das Schiff nehmen lassen.‹ Sein unbeirrbarer Glaube an die Zukunft seiner Schiffe machte einen tiefen Eindruck auf mich.«

Juli 1914, der Erste Weltkrieg war ausgebrochen und der Graf musste die Entscheidung des Heeres hinnehmen, dass es für 88 seiner Kriegsluftschiffe keine Einsatzmöglichkeit gebe. In seinen Erinnerungen berichtet Dornier von der Reaktion des Grafen: »Wir müssen jetzt, wo eine Weiterarbeit an meinen Luftschiffen unmöglich ist, uns mit der Flugmaschine beschäftigen. Ich will der Marine einen Flugapparat anbieten, mit dem sie eine Tausend-Kilogramm-Bombe abwerfen kann. Sie müssen mir die Maschine bauen.« Claude Dornier freute sich über die Möglichkeit, sich ganz und gar der Konstruktion eines Aeroplanes widmen zu können. Da der Apparat über See eingesetzt werden sollte, entschied er sich für ein Flugboot. Holz als Baumaterial kam nicht infrage, da es viel zu schwer war - also Metall. Unterlagen über Bau, Gewichte und Leistungen gab es keine. Der junge Ingenieur war auf sich gestellt.

### **Das Flugboot**

Im Oktober 1915 wurde der Prototyp des Flugboots »Rs I« zu ersten Rollversuchen auf den Bodensee gezogen. Am 21. Dezember 1915 wurde es durch einen heftigen Sturm zerstört. Am Tag nach dem Sturm kam Graf Zeppelin an das Ufer, wo das Wrack lag: »... er schüttelte mir die Hand und





Blick in das Cockpit eines

sagte: ›Weitermachen, Dornier, weitermachen!‹« Und Claude Dornier machte weiter. Jedes Mal wurde etwas verbessert und nachdem »Rs III« die harte Seeprüfung der Marine bestanden hatte, orderte jene auch gleich noch den Nachfolger, »Rs IV«. Leider konnte der Graf diesen Erfolg nicht mehr miterleben, denn er verstarb am 8. März 1917.

Nach dem verlorenen Krieg 1919 durfte in Deutschland kein Fluggerät mehr gebaut oder in Betrieb genommen werden. Das bedeutete den Zusammenbruch des Zeppelin-Werkes in Lindau. Nach vielen Diskussionen einigten sich die Gesellschafter auf die Stilllegung des Werks, jedoch sollte die Gesellschaft in Seemoos unter Leitung von Claude Dornier weitergeführt werden. Obwohl man kaum Geld hatte, kaufte Dornier im Dezember 1921 im italienischen Marina di Pisa ein stillgelegtes Werk. Dort konnten die Arbeiten an sechs Flugbooten wieder aufgenommen werden. Aufträge hatte Dornier noch keine, er vertraute auf sein Glück, dass sich diese finden würden, bis die Boote fertig waren, und wurde nicht enttäuscht. Die spanische Regierung stimmte nach zähen Verhandlungen dem Kauf von sechs Flugbooten zu. Der Stapelflug am 6. November 1922 war ein voller Erfolg. Der neue Flugapparat, der »Wal« schrieb anschließend Geschichte. Insgesamt wurden weltweit mehr als 300 Stück dieses Typs gebaut. Claude Dornier resümiert später: »Man kann sagen, der ›Wal‹ hat Dornier gemacht. Er hat uns von einem kleinen Versuchsunternehmen zu einer international bekannten Firma gestempelt.«

#### **Einsatz im hohen Norden**

Zurück nach Norwegen zu Roald Amundsen. Der wollte seine nächste Nordpolerkundung mit Hilfe eines Fluggeräts durchführen. Seinen ersten Versuch hatte er im Jahr 1923 unternommen, mit einer auf Schwimmern gebauten Junkers F13. Aber bereits beim Probeflug brach bei der Landung das ganze Untergestell der Maschine weg. Eine Reparatur war ausgeschlossen. Amundsen ließ sich davon nicht entmutigen. Er erfuhr von dem »Wal«, dessen Bootsrumpf über Wasser, Schnee und Eis gleiten konnte. Was ihm jetzt noch fehlte, war das nötige Geld.

Während einer Vortragsreise 1924 in den USA rechnete der Polarforscher aus, wie viel Vorträge er noch halten müsste, um seine Gläubiger bezahlen zu können: »Das Resultat«, so berichtet er, »war nicht gerade ermunternd. Ich berechnete nämlich, dass ich, falls kein unvorhergesehener Glücksfall eintraf, in meinem hundertundzehnten Lebensjahr startklar sein würde. Aber gerade in diesem Augenblick ereignete sich das Unerwartete. Das Telefon klingelte.« Es war James W. Ellsworth, ein Millionär, der von dem ehrgeizigen Projekt gehört hatte und bereit war, Amundsen zu unterstützen. 85 000 Dollar wolle er spenden, wenn sein Sohn Lincoln mit von der Partie sein dürfe. Nun wurden zwei »Wal«-Flugboote bestellt und am 21. Mai 1925 hieß es: »Wir sind startbereit, Kapitän, sobald Sie es wünschen!«

### **Die Reise**

Die zwei Flugboote N24 und N25 hoben von Kings Bay (Spitzbergen) ab. Sie waren mit je drei Mann besetzt. Einem Beobachter, dem Flugzeugführer und einem Bordmechaniker. Bereits nach kurzer Flugzeit zog Nebel auf, der sie zum Höhersteigen zwang und ihnen für gute zwei Stunden die Sicht nach unten komplett verwehrte. Die Lufttemperatur gab Amundsen mit -13°C an. Gute acht Stunden sind sie geflogen und die Hälfte des Benzinvorrats war fast verbraucht, als bei der N 25 der hintere Motor aussetzte und sie zu einer Notlandung zwang. In der N24 wiederum machte der Pilot



### Was war das Besondere an Dorniers Flugboot?

Der Rumpf des »Wal« (im Bild ein Nachbau über dem Bodensee bei Friedrichshafen) entsprach dem eines Boots. Er wurde durch seitlich angebrachte »Stummel« im Wasser stabilisiert. Die Tragfläche war mit einem Abstand von gut einem Meter über dem Rumpf angebracht. Darauf wurde die Motorgondel montiert. Somit waren die Motoren so weit vom Wasser entfernt als nur möglich. Die hintereinander liegende Anordnung der zwei Rolls-Royce-Eagle-Motoren mit je 360 PS war ganz neu in der Luftfahrt. Man hatte bei Versuchen herausgefunden, dass sich der Wirkungsgrad durch eine Zug- und eine Druckschraube wesentlich verbesserte, denn die hintere Schraube glich den Drallverlust der vorderen aus. Das führte dazu, dass der Apparat ruhiger in der Luft lag und die Manövrierfähigkeit sich deutlich verbesserte. Ein für die damalige Zeit wichtiger Gesichtspunkt war auch, dass der Bordwart während des Fluges vom Boot aus in die Motorgondel gelangen konnte, um dort Kontrollen oder kleinere Reparaturen vorzunehmen. Das Flugbenzin wurde in fünf 285-Liter-Fässern im Boot gelagert und mit einem raffinierten System nach oben gefördert. Entweder mit einer luftgetriebenen Flügelpumpe oder mit Pumpenschlegel und Muskelkraft. Sehr elegant. Die Tragkraft darf nicht unerwähnt bleiben. Leer wog ein »Wal« gute 3560 Kilogramm, weitere 2140 Kilogramm konnten zusätzlich geladen werden. In der Praxis erwies es sich sogar, dass der »Wal« eine Zuladung von 3100 Kilogramm mühelos bewältigte. Eine Revolution bei den Fluggeräten.





Der Polarforscher Roald Amundsen vor dem Flugboot »Wal«, mit dem er den Nordpol erreichen wollte.

Leif Dietrichson nach relativer kurzer Flugzeit folgende Beobachtung: »Der immer praktische Omdal (Bordmechaniker) war so umsichtig gewesen, eine Klingelleitung von meinem Führerplatz nach achtern zum Benzintankraum und der Motorgondel zu legen. Kaum hatte ich auf den Knopf gedrückt, so war Omdal auch schon neben mir. Ich zeigte auf das Thermometer, das ständig stieg, und Omdal verschwand wie der Blitz nach hinten [...]. Der Zeiger ging über 100°C hinaus, und ich war überzeugt, dass wir eine Notlandung vornehmen müssten. [...] Die Temperatur stieg weiter. Das letzte was ich sah, waren 115°C – da platzte das Thermometer. [...] Nach einer Zeit, die mir in meiner Spannung mehrere Minuten zu dauern schien, kam Omdal wieder und versicherte auf meine ängstliche Frage, was los sei, alles sei all right. [...] Ich hoffte, dass wir bei vorsichtigem Fahren durchkommen würden, und nachdem Minute auf Minute ohne Katastrophe verging, stieg mein Vertrauen.«

Dietrichsons Vertrauen war gerechtfertigt, er flog so lange, bis er sah, dass die N25 landen wollte. Mit dem Aufsetzen jedoch starb der hintere Motor. Ein Ventil des Vergasers war defekt, es konnte nicht repariert werden. Die N24 musste im Eis aufgegeben werden. Mit dem Feldstecher entdeckten Ellsworth und Dietrichson die N25 zwischen den Eisbergen. Am sechsten Tag schafften sie es, mit viel Glück zu den Kameraden zu stoßen.

Die Mannschaft der N25 hatte indes ganz andere Sorgen. Problemlos war sie mit ihrem Motorschaden auf einem engen Wasserlauf gelandet und kam kurz vor einem gigantischen Eisblock zum Stehen - Sackgasse. Der Motorschaden war rasch behoben, an einen Start jedoch nicht zu denken, weil einfach kein Platz vorhanden war. Auch ein Flugboot braucht eine Startbahn und die galt es jetzt zu bauen. In seinem Buch: Die Jagd zum Nordpol beschreibt Amundsen jeden Tag dieses 25-tägigen Aufenthalts im Eis. Wie zum Beispiel am 8. Juni: »Die Maschine war festgefahren und musste um 180° gewendet werden, um in die richtige Richtung zu kommen [...] Es gab nur eine Möglichkeit, nämlich bis auf das Eis herunterzugraben und dann die Maschine auf dem Eise herumzudrehen. Der Schnee war hier zwischen zwei und drei Fuß tief, und jeder Spatenstich in dieser feuchten, schweren Masse war eine Leistung, besonders für die von uns, die die großen Schneeschaufeln handhabten. Wir machten einen kreisförmigen Platz mit einem Durchmesser von 15 Metern frei, und das nannten wir die Drehscheibe. Hätten wir nun sofort erreicht, was wir beabsichtigten, so hätten wir vielleicht die ganze Drehscheibe längst vergessen. Aber so weit kam es keineswegs. Die Profile, die neben der Unterfläche des Bootes lagen, schnitten nämlich in das Eis ein und hinderten die ganze Drehung. [...] Da hatte einer eine glänzende Idee: einen Ski unterlegen! Wir waren uns sofort einig, dass der Gedanke gut war. Aber ihn in die Tat umzusetzen, war nicht so einfach. Wir mussten ja den Apparat anheben und er wog immerhin 4,5 Tonnen. Aber selbst das konnte uns nicht abschrecken. Wir brauchten ja nicht hoch anzuheben, nur ungefähr 2 Zentimeter. Aber wir waren dazu nur fünf Mann, der sechste musste ja den Ski unterschieben. [...] Alle fünf Rücken wurden unter den Schwanz des Apparats gebeugt und nun eins, zwei, drei! Wir bekamen die Maschine auf den Ski [...]. Den ganzen 9. Juni regnete es wie aus Kannen und Riiser-Larsen steckte unsere endgültige Startbahn ab. Eine Bahn von 600m Länge und 12m Breite.«

### Die Heimkehr

Fast vier Wochen hatte es gedauert, bis die Schneemassen beiseite geräumt waren, das Flugboot gewendet und startklar gemacht werden konnte. Am 16. Juni gelang dann der Abflug - sechs Mann in der verbliebenen N25. Halbverhungert kamen sie am 17. Juni in Kings Bay an: Roald Amundsen, Leif Dietrichson, Oskar Omdal, Karl Feucht, Lincoln Ellsworth und Leif Riiser-Larsen kehrten lebend aus der Eiswüste zurück. In der Haupstadt Oslo erwartete die Totgeglaubten ein großartiger Empfang, den Amundsen nie vergessen sollte: »Der 5. Juli 1925 war dann der große Tag. Wer kann die Gefühle beschreiben, die sich in uns rührten, als wir auf unserer N 25 in die festlich geschmückte Hauptstadt mit den Tausenden und Abertausenden von jubelnden Menschen hineinschwebten? Wer kann den Anblick beschreiben, der sich uns bot, als wir auf dem Wasser niedergingen und von Tausenden von Booten umringt wurden? Wer den Empfang im Hafen? Wer den Triumphzug durch die Straßen? Und als leuchtende Krönung des Ganzen - das Festmittagsmahl bei dem Königspaar im Schloss? Das gehört jetzt alles der Erinnerung an - der schönsten und unvergesslichsten Erinnerung.« III



Die Dornier N 25 bei ihrem Rückflug aus der Arktis über dem Oslofiord.



Barbara Grilz ist Flugzeugtechnikerin, Journalistin und Buchautorin. Ihr besonderes Interesse gilt der alten Verkehrsfliegerei.



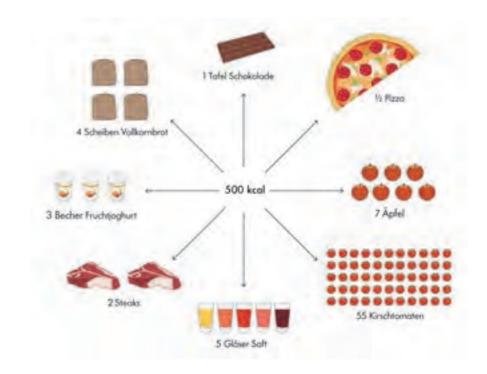
### Das Gelbe vom Ei

Eine Sonderausstellung\* im Deutschen Museum
zeigt die Vielfalt der Ernährung von Margherita Kemper und Isabel Martin

om Frühstück bis zum Abendessen beschäftigt sich jeder von uns mehr oder weniger intensiv mit dem Thema Essen und Ernährung. Soll es zum Frühstück lieber ein Schokocroissant oder Vollkornmüsli geben? Bleibt in der Mittagspause Zeit, um in Ruhe zu essen? Haben wir abends noch Lust zu kochen oder schaffen wir es gerade mal noch, die Tiefkühlpizza in den Ofen zu schieben? Neben diesen eher praktischen Fragen machen sich viele Menschen auch Gedanken über Lebensmittelproduktion sowie deren Hintergründe und Methoden. Diese und ähnliche Fragestellungen greift die Sonderausstellung »Das Gelbe vom Ei – Eine Ausstellung über das Essen« auf, die ab dem 26. Juli 2013 auf der Sonderausstellungsfläche im Zentrum Neue Technologien des Deutschen Museums zu sehen sein wird. Auf rund 300 m<sup>2</sup> wird bis zum 6. Januar 2014 nicht nur die Vielfalt der heutigen Nahrungsmittel aufgezeigt, sondern auch woher diese stammen, wie man sie haltbar macht und welche Auswirkungen sie auf die Gesundheit haben können.

Die Sonderausstellung beschäftigt sich zunächst mit den einzelnen Bausteinen unserer Nahrung: Die energieliefernden Nährstoffe Kohlenhydrate, Fette und Proteine, aus denen unsere Lebensmittel vorwiegend aufgebaut sind, werden von den nicht energieliefernden Nährstoffen abgegrenzt. Hierzu zählen Vitamine, Mineralstoffe und sekundäre Pflanzenstoffe. Je nach mengenmäßiger Zusammensetzung der einzelnen Bestandteile besitzt ein Lebensmittel einen mehr oder weniger hohen Brennwert, der in Kilokalorien oder Kilojoule angegeben wird.

Bei gleicher Kalorienzahl können jedoch zwei Lebensmittel in Bezug auf die Menge oder in Bezug auf den SättigungsGleicher Brennwert, aber unterschiedliches Gewicht: so verschieden ist der Kaloriengehalt von Lebensmitteln. effekt völlig unterschiedlich sein. Eine Tafel Schokolade hat im Schnitt etwa 500 kcal, ebenso viele haben sieben große Äpfel oder 55 Cocktailtomaten. Um dies für die Besucher auch im wahrsten Sinne »erfahrbar« zu machen, wurde ein Kalorien-Fahrrad entwickelt. Über einen Monitor wählt man ein Lebensmittel aus, das man virtuell verzehren möchte, und fährt dann so lange Rad, bis das Kalorienäquivalent des Lebensmittels wieder verbrannt ist. Je nachdem wie flott man unterwegs ist, dauert es mindestens eine Viertelstunde, bis man eine Breze von 140 kcal abgestrampelt hat.



Wettbewerbsdarstellung der Großinszenierung, die nach der Sonderausstellung in die zukünftige Dauerausstellung »Landwirtschaft und Ernährung« übergehen wird.



Egal, welches Lebensmittel man verzehrt hat und wie ansprechend eine Mahlzeit auch angerichtet und dekoriert war – im Mund wird alles zu einem einheitlichen Speisebrei und der Prozess der Verdauung beginnt. Um Energie und Grundbausteine aus der Nahrung zu gewinnen und für den Körper verwertbar machen zu können, wird die Nahrung auf dem Weg in den Darm zunächst durch mechanische und später durch chemische sowie physikalische Vorgänge zerkleinert und aufgeschlossen. Dann erst können die Bausteine über die Darmwand in die Zellen eingeschleust und für den Stoffwechsel verwendet werden. In der Ausstellung kann diese Reise der Nahrung durch den Körper anhand kurzer Filmsequenzen und an einem Torsomodell nachvollzogen werden.

Falsche Ernährung kann zum Problem werden, wie der Ausstellungsbereich »Vorbeugen und Lindern« erläutert. Essen wir zu viel bzw. das Falsche, können Krankheiten wie Adipositas und Diabetes die Folge sein. Diesen kann zumeist durch eine ausgewogene Ernährung und einen aktiven Lebensstil vorgebeugt werden, obwohl auch hier genetische Faktoren eine Rolle spielen.

Bei Übergewicht kann den Betroffenen in vielen Fällen durch eine adäquate Ernährung geholfen werden. Wenn es jedoch mit der Ernährungsumstellung und einer Veränderung des Lebensstils nicht klappen will, sehen stark adipöse Personen als letzten Ausweg oft nur noch einen operativen Eingriff – zum Beispiel das Einsetzen eines Magenbandes. Dadurch, dass es um den oberen Teil des Magens gelegt wird, verkleinert sich dieser drastisch, man kann weniger essen und verspürt auch schneller ein Sättigungsgefühl.

### Von Mangel und Überfluss

Nicht nur ein Zuviel, sondern auch ein Zuwenig an Nährstoffen hat Auswirkungen auf die Gesundheit, was in der Ausstellung am Beispiel Jodmangel gezeigt wird. Zu einer Jodmangelerkrankung kommt es, wenn dem Körper über einen längeren Zeitraum zu wenig Jod zugeführt wird. Die Folge ist ein vergrößertes Wachstum der Schilddrüse, das im Extremfall nach außen hin als Kropf (Struma) sichtbar wird.

Da in Deutschland inzwischen zumeist Jodsalz verwendet wird, tritt das Jodmangelstruma heute fast nicht mehr auf. Jodmangel ist eng verknüpft mit einem traditionsreichen Schmuckstück: den Kropfbändern. Diese wurden früher in





Durch das Anlegen eines Magenbandes fasst die obere Magentasche nur mehr 20 bis 45 Milliliter Speisebrei.

Jodmangelgebieten als eine Art Schwangerschaftstest genutzt, denn während einer Schwangerschaft braucht eine Frau etwa 20 Prozent mehr Jod als sonst. Wuchs die Schilddrüse an, so spannte das ohnehin schon eng anliegende Halsband, was ein erstes Anzeichen für eine mögliche Schwangerschaft darstellte.

Neben den genannten Krankheiten, die zumindest teilweise beeinflussbar sind, gibt es auch rein genetisch bedingte Erkrankungen, die die Betroffenen ein Leben lang begleiten. Beispiele hierfür sind die Laktoseintoleranz und die Zöliakie. Hier ist es nötig, den Speiseplan dauerhaft anzupassen. Bei der Laktoseintoleranz mangelt es den betroffenen Personen an dem Enzym Laktase, welches den Milchzucker Laktose spaltet. Blähungen und Durchfall sind die Folgen des Konsums von Milchprodukten mit zu hohem Laktosegehalt. Doch den Sahnetorten muss ein laktoseintoleranter Mensch inzwischen nicht mehr komplett entsagen: Heute sind sowohl Produkte auf dem Markt, bei denen die Laktose in einem enzymatischen Schritt schon gespalten wurde, als auch Laktasetabletten, die zu den Mahlzeiten eingenommen werden. Zöliakiepatienten hingegen müssen eine lebenslange strikte Diät halten und bestimmte Lebensmittel konsequent meiden. Grund dafür ist eine Überempfindlichkeit auf das Klebereiweiß Gluten, das in nahezu allen Getreidesorten enthalten ist. Durch eine Immunantwort auf das an sich harmlose Gluten entzündet sich die Schleimhaut des Dünndarms, so dass sich die Darmzotten zurückbilden, was wiederum eine mangelhafte Nährstoffaufnahme zur Folge hat. Hier gibt es keine Tabletten oder andere Hilfsmittel, glutenhaltige Speisen müssen komplett vom Speiseplan gestrichen werden, damit sich die Darmzotten regenerieren können. Brot- und Backwaren müssen aus glutenfreien Getreidesorten, wie Mais und Reis, oder Scheingetreiden, wie Buchweizen, hergestellt werden.

Wie viele Gedanken man sich um die Zusammenstellung des täglichen Speiseplans macht, ist von Mensch zu Mensch ganz unterschiedlich. Manche Personen müssen sich von klein auf an strikte Regeln halten – etwa wenn sie an Lebensmittelallergien oder der eben erwähnten Zöliakie leiden. Wie der Alltag eines von Zöliakie Betroffenen aussieht, erfährt der Ausstellungsbesucher an der Hörstation »Essgewohnheiten«.

Bei uns trifft man heute auf viele verschiedene Einstellungen und persönliche Vorlieben rund um die Ernährung sowie auf eine sehr große Vielfalt an Lebensmitteln. Als Highlight der Ausstellung gibt eine Großinszenierung mit alltäglichen, aber auch ungewöhnlichen Exponaten einen Einblick in das sehr vielfältige Thema Lebensmittel und Ernährung. Diese Großinszenierung, die in Form eines riesigen Regals mit einer Breite von rund 15 Metern gestaltet ist, ist das zentrale Element der Ausstellung und greift thematisch verschiedenste Aspekte der Ernährung von A wie Astronautennahrung bis Z wie Zusatzstoffe auf. In den Regalfächern werden überdimensionale Modelle von Lebensmitteln, z. B. ein 40 Zentimeter hohes Ei, oder Originalexponate, z. B. ein Care-Paket aus der Nachkriegszeit, ausgestellt.

Im Laufe der Zeit hat sich die Ernährung des Menschen unter anderem durch technische Innovationen immer wieder verändert. Meilensteine in der Geschichte der Ernährung, die unsere Essgewohnheiten nachhaltig beeinflusst haben, sind beispielsweise die Nutzung des Feuers zur Zubereitung von Nahrung oder der gezielte Anbau von Nahrungsmitteln im Zuge der neolithischen Revolution vor etwa 10 000 Jahren. Weiterhin spielt auch die Entwicklung von Düngemitteln eine wichtige Rolle für die Ernährung der Menschen. In der Ausstellung kann man anhand charakteristischer Exponate wie

etwa einer Pflugschar durch die Geschichte der Ernährung reisen und sich auch mit einem möglichen Zukunftsszenario wie der Laborproduktion von Fleisch beschäftigen.

Auch kulturelle Aspekte beeinflussen unsere Ernährung
stark. In der Ausstellung steht dafür
das Modell eines Grashüpfers. Während
Insekten in Asien oder Südamerika ein beliebtes
Nahrungsmittel und eine wichtige Proteinquelle sind, ruft allein schon der Gedanke an den Verzehr von Insekten in
Europa meist Ekel hervor und wird überwiegend abgelehnt.

Kulturelle Aspekte prägen unsere Vorlieben und Abneigungen für bestimmte Lebensmittel. Allerdings gibt es im Leben auch Situationen, in denen man seine Ernährung nicht frei wählen kann und die eine spezielle Ernährung erfordern. Bei manchen Krankheiten ist eine Ernährung über Mund und Speiseröhre nicht möglich. Die Nahrung wird über Sonden direkt durch die Bauchdecke in den Magen geleitet. Diese Sondennahrung enthält alle lebenswichtigen Bestandteile, so dass auch bei Nutzung über längere Zeit keine Mangelerscheinungen auftreten. Beim Thema Spezialnahrung werden in der Ausstellung allerdings nicht nur krankheitsbedingte Ernährungseinschränkungen angesprochen, sondern es wird auch gezeigt, wie die Ernährung bei extremer Unterernährung oder in räumlicher Abgeschiedenheit erfolgen kann. So werden in der Ausstellung Riegel aus Erdnussbutterpaste gezeigt, die aufgrund ihrer hohen Energiedichte sehr gut für unterernährte Menschen geeignet sind. Außerdem lassen sich hier Originallebensmittel für Astronauten im Weltall begutachten. Diese sind besonders an den Verzehr in der Schwerelosigkeit angepasst und sollen verhindern, dass sich Krümel und Tropfen in der Raumstation in alle Richtungen ausbreiten.

Darüber hinaus kann man sich in diesem Ausstellungsbereich natürlich auch mit Lebensmitteln beschäftigen, die jeder aus dem Alltag kennt. Spannende Einblicke werden in die teilweise komplexen Herstellungsverfahren von hochpro-

Überdimensionaler Lolli, der innerhalb der Großinszenierung für das Thema Süßigkeiten steht. zessierten Lebensmitteln wie Tütensuppen oder Erdnussflips geboten. Man kann sich über die Grundnahrungsmittel als Bestandteile einer ausgewogenen Ernährung genauso wie über die Genussmittel Kaffee und Alkohol informieren.

### Das tägliche Brot

Das Grundnahrungsmittel Brot spielte im Laufe der Menschheitsgeschichte in fast allen Kulturen eine wichtige Rolle und ist auch heute nicht mehr aus unserer Ernährung wegzudenken. Daher wurde diesem Thema ein eigener Ausstellungsbereich gewidmet. An einer interaktiven Station kann man testen, wie die Rieselfähigkeit verschiedener Mehltypen variiert, und lernen, wodurch diese Unterschiede zustande kommen. Außerdem wird anschaulich demonstriert, was sich hinter der Bezeichnung »Mehl Type 405« verbirgt.

Weltweit gibt es eine große Vielfalt verschiedener Brotsor ten. Dabei handelt es sich teilweise um traditionelle Brote oder auch um neuere Kreationen. In der Ausstellung erfährt man etwas über die Herkunft einiger ausgewählter Brotsorten und kann in spannende Geschichten rund um das Grundnahrungsmittel Brot eintauchen. Wer weiß beispielsweise, dass das Baguette weitaus weniger traditionsreich ist als Toastbrot und anfangs vor allem deshalb geschätzt wurde, weil es billig und einfach herzustellen ist? Das Toastbrot hingegen gilt als ein sehr feines helles Brot, dessen Herstellung sich sogar bis ins Spätmittelalter zurückverfolgen lässt.

Im Ausstellungsbereich »Haltbarmachen und Lagern« kann man sich näher mit der Herstellung von Lebensmitteln beschäftigen. Hier dreht sich alles um die Konservierung von Lebensmitteln, sowohl im industriellen Maßstab wie auch im Haushalt. Es werden aktuelle Methoden der Konservierung genauso gezeigt wie die historischen Entwicklungen in diesem Bereich. Allen Methoden gemein ist es, die Lebensbedingungen für Mikroorganismen, also der für den Verderb verantwortlichen Bakterien, Pilze und Hefen, möglichst zu verschlechtern, so dass sich diese weniger stark vermehren oder sogar abgetötet werden. Beim Trocknen von Lebensmitteln erfolgt dies über den Entzug von Wasser. In der Ausstellung werden die verschiedenen Methoden zusammen mit ihren Trocknungsprodukten vorgestellt und beispielsweise gezeigt, wie die Erdbeeren im Müsli hergestellt werden. Zudem werden das Kühlen von Lebensmitteln und die zu-



Das Obst in den Weckgläsern ist nicht verdorben, obwohl es bereits vor über 50 Jahren eingekocht wurde.

\* Die Ausstellung wird gefördert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). Das Kompetenzzentrum für Ernährung (KErn) im Ressort des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten ist Projektpartner des Deutschen Museums.



gehörigen technischen Fortschritte präsentiert. Auch die Erfindung von Konserven und

das Einkochen sind ein Thema dieses Bereichs. Wie lange man Lebensmittel durch Einkochen und Zusatz von Zucker haltbar machen kann, lässt sich in der Ausstellung am Beispiel von eingekochten Früchten aus den 1960er Jahren zeigen. Obwohl im Laufe der Jahre die Farbe des Obstes etwas verblasst ist, sind bisher keine Anzeichen von Schimmelbefall erkennbar. Heute sind fast alle Lebensmittel ganzjährig im Überfluss im Supermarkt erhältlich, so dass sie oftmals weniger geschätzt werden und zu viele Lebensmittel achtlos weggeworfen werden. Um die Verschwendung von Lebensmitteln zu vermeiden, sollte man daher möglichst gut geplant einkaufen, die Lebensmittel optimal an ihre Bedürfnisse angepasst lagern und sie genau prüfen, bevor man sie wegwirft. Oft sind die Lebensmittel noch ohne Weiteres essbar. In der Ausstellung gibt es eine kleine Lebensmittelkunde, in der Tipps zur Haltbarkeit und zur Lagerung von Lebensmitteln gegeben werden. Hier erfährt man unter anderem, wie man Kartoffeln oder exotische Früchte am besten lagert, oder was der Unterschied zwischen dem Verbrauchs- und dem Mindesthaltbarkeitsdatum ist. Wir hoffen, Ihnen mit dieser kleinen Einführung in die Ausstellung Lust gemacht zu haben, sich auf die Suche nach dem »Gelben vom Ei« zu begeben.

Nähere Informationen auch zum Begleitprogramm finden Sie in unserem Quartalsprogramm oder unter www.deutsches-museum.de

Einen kleinen Vorgeschmack auf die Ausstellung erhalten Sie bei den 2. Bayerischen Ernährungstagen, die von unserem Partner, dem Kompetenzzentrum für Ernährung (KErn), organisiert werden. Sie finden vom 12. bis 21. Juli 2013 in München und Bayern statt. ■

### Dr. Isabel Martin

hat Chemie und Biologie studiert und arbeitet derzeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der neuen Dauerausstellung »Landwirtschaft und Ernährung« am Deutschen Museum.

### Dr. Margherita Kemper

ist Biologin und seit 2011 Kuratorin für das Fachgebiet Life Science. Sie betreut das DNA-Besucherlabor im Zentrum Neue Technologien und arbeitet an der neuen Dauerausstellung »Landwirtschaft und Ernährung« mit.



## Deutsches Museum

INTERN

- Neues aus dem Freundes- und **Förderkreis**
- Museumsinsel Publikationen Wettbewerb
- Verkehrszentrum Veranstaltungen
- Flugwerft Fly-In
- Deutsches Museum Bonn Familienspielefest
- Leserbriefe

Der Terminkalender Juli bis September 2013 liegt dieser Ausgabe bei. Aktuelle Termine finden Sie auch unter:

www.deutsches-museum.de/information/kalender

Museumsinsel

Verkehrszentrum

Flugwerft Schleißheim

Alle aktuellen Veranstaltungen finden Sie in unserem Quartalsprogramm.



Der Gründerkreis der Zukunftsinitiative Deutsches Museum baut auf eine lange, bis zu den Anfängen des Museums reichende Tradition auf. Diesmal sei an dieser Stelle die Bauindustrie vorgestellt, ohne die es das Museum auf der Isarinsel nicht geben würde, und MAN, ein treuer Mitstreiter des Hauses.

s war irgendwann in den Jahren 1923–1925, in jedem Fall aber deutlich vor der offiziellen Eröffnung des Museums auf der Isarinsel am 7. Mai 1925. Trotz aller Anstrengungen fehlte noch der letzte Schliff für das prunkvolle Interieur, das gewisse Etwas. Oskar von Miller ließ also die Ausstellungsräume herrichten, Gemälde aufhängen, kurzum alles so weit fertigstellen, dass man das Haus jederzeit der Öffentlichkeit hätte übergeben können mit einem ganz wesentlichen Makel, einem von Oskar ganz bewusst in Szene gesetzten und deutlich ins Auge springenden Makel ... Dann lud er die Herren von der Bauindustrie zu einer ersten Führung durch das Museum ein. Die Begeisterung und das Lob nahmen kein Ende, indes, als man die Luftfahrthalle und darunter die Abteilung für Schifffahrt betrat, herrschte allgemeine Bestürzung. Die Säulen in den ansonsten luxuriös ausgestatteten Räumen waren kahl, blanker Beton. Was die Besucher nicht wussten: Deutschlands oberster Spendeneintreiber hatte sie extra ärmlich und unfertig gelassen. Die Botschaft war eindeutig. All die Mühen-und dann war dem nationalen Prestigeprojekt schließlich das Geld ausgegangen, das würde auch auf die Baufirmen kein gutes Licht werfen. Man verstand den Wink mit dem Zaunpfahl und sandte umgehend prächtigsten Marmor zur Verkleidung.

Dabei waren die großen Baufirmen ohnehin schon das Rückgrat des ambitionierten Projekts. Ihre großzügigen Spenden hatten den Bau auf der Isarinsel überhaupt erst ermöglicht. 60 000 Quadratmeter Sand und Kies, 400 Eisenbahnwaggons mit Kalk sowie 1700 Waggons

mit Zement hatten sie Miller und seiner Unternehmung schon mit großer Selbstverständlichkeit zukommen lassen, die Reichsbahn erwies sich als nicht minder großzügig und gewährte auf allen Transporten durch die verschiedenen Landesteile Frachtfreiheit. Damit nicht genug: Man spendierte auch noch 3 Millionen Kilogramm Eisen, 7 Millionen Kilogramm Ziegelsteine und 33 000 laufende Meter Gussrohre, die heute noch zu einem Großteil in den Wänden des alten Hauses stecken. »Man muss erst einmal auf die Idee kommen, sich neben all den Exponaten auch noch Sand und Zement spenden zu lassen«, meint Archivleiter Wilhelm Füßl über die kreativen Bettelmethoden des Museumsgrün-

### **Baumaterial spendiert**

Man stelle sich vor, die heutigen Gründungsmitglieder der Zukunftsinitiative – in dem Fall etwa der Bayerische Bauindustrieverband – würden nicht einfach ein paar Millionen Euro, sondern Güterwagen voller Baumaterialien, zum Nulltarif großzügig von der Deutschen Bahn transportiert, für die Generalsanierung des Museums auf der Isarinsel abliefern. Das wäre ein Spektakel.

Alle Gründungskreismitglieder – angefangen vom Bayerischen Bauindustrieverband, dem Freundes- und Förderkreis, Bosch, Thyssen Krupp, Siemens, Linde, Knorr, BMW oder MAN – stehen heute wie bei der Gründung des Museums für zukunftsweisende Technik, Innovation und Nachhaltigkeit. Auch wenn das Museumshauptgebäude sich neoklassizistisch gibt, so ist es doch ganz modern. Es steht – anders als das in traditioneller Holzpfahlbauweise ent-

standene Venedig – auf Betonpfählen im Fluss, und der 1932 eröffnete Bibliotheksbau war damals der größte Stahlbetonbau Europas. Freilich, der Anteil mäzenatischer Mittel belief sich zu Oskar von Millers Zeiten auf ein Drittel der Gesamtsumme, während die Gründer heute mit 10 Prozent vertreten sind.

### Intensive Verbindung

So auch MAN, das dem Museum seit der Gründung verbunden ist. Rudolf Diesel, der gemeinsam mit der Maschinenfabrik Augsburg, aus der 1908 die MAN AG hervorging, den ersten Dieselmotor entwarf, gehörte zu den engen Freunden Oskar von Millers. 1893 lief der erste Prototyp seines Motors aus eigener Kraft, das Original von damals befindet sich im Museum. Es ist eines der zahlreichen Originalobjekte, die das Deutsche Museum so sehr von den anderen Technikmuseen der Welt unterscheiden und es zum größten derartigen Museum der Welt machen.

MAN blieb dem Museum auch weiterhin verbunden, etwa nach dem Zweiten Weltkrieg, als der ehemalige Generaldirektor von MAN, Otto Mayer, im Land herumreiste, um Spenden für den Wiederaufbau des Museums einzuwerben. 1947 gab es dann auch schon eine erste Sonderschau zum Thema: »50 Jahre Dieselmotoren«.

Freilich durften sich all die edlen Spender zu Oskars Zeiten auch so manches erhoffen. Im Jahr der Museumseröffnung 1925 wurde der Goldene Ehrenring gleich 71 Mal verliehen. Vor dem Ersten Weltkrieg freilich hatte Miller noch illusterere Möglichkeiten, seine Dankbarkeit zu zeigen. Aus seinem Briefwechsel wird deutlich, dass er jedes Jahr Herren nicht nur für Orden, sondern – und das war damals eine Verheißung, die allergroßzügigste Spenden lockerzumachen imstande war – auch für Nobilitierungen vorschlug. Als Mitglied im Reichsrat wog sein Wort schwer genug, und seine Kunst, die Unterstützung seines Museums zur nationalen Frage zu erheben, trug das ihre dazu bei.

Man darf also gespannt sein, welche Ehrungen dem jetzigen Generaldirektor Wolfgang Heckl bis zum Abschluss der Generalsanierung zur Hundertjahrfeier des Hauses noch einfallen werden. Auf jeden Fall braucht das Museum seinen Gründerkreis mit all den bis in die Anfänge des Museums zurückreichenden Verbindungen jetzt mehr denn je. (Fortsetzung folgt.)

Monika Czernin

## Unterstützen Sie den Freundeskreis des Deutschen Museums!

### Jahresbeitrag:

- ▶ 500 Euro für persönliche Mitgliedschaften
- ▶ 250 Euro für Juniormitgliedschaften (bis 35 Jahre)
- ➤ 2500 Euro für Mitgliedschaften mittelständischer Unternehmen nach EU-Norm
- ▶ 5000 Euro für Mitgliedschaften großer Unternehmen

#### Kontakt:

Freundes- und Förderkreis
Deutsches Museum e. V.
Museumsinsel 1 · 80538 München

### Ihre Ansprechpartnerin:

Claudine Koschmieder Tel. 089/2179-314 Fax 089/2179-425 c.koschmieder@ deutsches-museum.de

### **MUSEUMSINSEL** Publikation

### Bausteine aus buntem Glas

Als Band 6 der Reihe *Deutsches Museum Preprints* erschien im Frühjahr 2013 der Band von Artemis Yagou, »Modernist complexity on a small scale: The Dandanah glass building blocks of 1920 from an object-based research perspective«



konkret und anschaulich werden. Wie immer finden sich gedruckte Exemplare des Preprintbands in ausgesuchten Bibliotheken – wie der des Deutschen Museums –, während die elektronische Version als PDF auf der Museumshomepage zum kostenfreien Download bereitsteht.

**Dorothee Messerschmid** 

Die Studie basiert auf Forschungen über die Sammlung von technischem Spielzeug im Deutschen Museum, der die Ingenieurin und Designhistorikerin Dr. Artemis Yagou ihren dreimonatigen Scholarin-Residence-Aufenthalt am Forschungsinstitut des Museums gewidmet hat.

Technisches bzw. Konstruktionsspielzeug entstammt einerseits der
Welt von Technik und Maschinen.
Es wird andererseits auch stark von
seinem zeitgenössischen kulturellen
Umfeld inspiriert, in diesem Fall vor
allem von Architektur, Architekturvisionen sowie der bildenden Kunst.
Der konkrete Gegenstand der Untersuchung ist ein ebenso eigenwilliges wie spannendes Objekt aus
unserem Depot: der Prototyp eines
um 1920 entworfenen Spielkastens
mit Glasbausteinen, der primär dem
namhaften Werkbund-Architekten

Bruno Taut zugeschrieben wird. Das sogenannte Dandanah-Bauspiel, von dem es nur wenige erhaltene Exemplare gibt, besteht im Wesentlichen aus 62 jeweils einfarbigen Glasbausteinen verschiedener geometrischer Form. Das Material Glas galt Taut und seinen Zeitgenossen als Ausdruck von Reinheit, Unschuld und Hoffnung und spielte damals nicht nur in der Architektur als innovatives, oft symbolisch-utopisches, ja geradezu programmatisch aufgelade- nes Material eine große Rolle.

Dass der Dandanah-Baukasten in den Sammlungsfundus des Deutschen Museums Eingang fand, ist sicherlich primär dessen technischem Aspekt zu verdanken. Yagou analysiert das Objekt darüber hinaus in seiner ganzen Komplexität, mit seinen inhärenten Widersprüchen und in seinem soziokulturellen Kontext an der Schnittstelle von technischen und utopischen Bildungs- und Aneignungsdiskursen.

Der englischsprachige Band schließt mit Überlegungen zur Rolle dieses Artefakts im Rahmen eines Technikmuseums und zu Möglichkeiten und Auswirkungen objektbasierter Forschung allgemein.

Die zahlreichen großteils farbigen Abbildungen lassen die Studie sehr

Das Dandanah-Bauspiel besteht aus 62 farbigen Glasbausteinen in verschiedenen geometrischen Formen.

Artemis Yagou, Modernist complexity on a small scale: The Dandanah glass building blocks of 1920 from an object-based research perspective, 2013, 61 S., 50 Abb. ISSN 2191-0871

### MUSEUMSINSEL Wettbewerb



Wettbewerb des Deutschen Museums: Szenarien für das Anthropozän

as Deutsche Museum und das Rachel Carson Center laden ein, an der Vorbereitung der großen Sonderausstellung »Anthropozän – Natur und Technik im Menschenzeitalter« mitzuwirken. Die Ausstellung, die von Oktober 2014 bis Juli 2015 in München gezeigt werden soll, thematisiert die tiefgreifenden Veränderungen, die der Mensch auf der Erde bewirkt. Der Chemie-Nobelpreisträger Paul J. Crutzen hat diese Veränderungen mit dem Begriff »Anthropozän« zusammengefasst - eine neue, vom Menschen gestaltete Erdepoche, die gerade erst begonnen hat.

Zur Ausstellung sollen auch verschiedene Zukunftsszenarien gehören. Das Deutsche Museum und das Rachel Carson Center laden interessierte Gruppen, Institutionen und Einzelpersonen ein, bei der Entwicklung dieser Darstellungen künftiger Entwicklungen mitzuhelfen. »Szenarien erlauben es, positive wie negative, erwartete wie unerwartete, gewollte oder ungewollte Veränderungen kreativ darzustellen, und erleichtern es, über die Zukunft nachzudenken.

»Wir möchten zeigen, dass es nicht eine einzige vorherbestimmte

Zukunft gibt, sondern viele mögliche Zukünfte«, sagt der Historiker Helmuth Trischler, Forschungsleiter des Museums und Ko-Direktor des Carson Center. »Wir wollen möglichst viele Perspektiven berücksichtigen und die Kreativität und das Wissen der Bevölkerung einbringen«, erläutert der Geologe Reinhold Leinfelder von der FU Berlin, der zu den Ausstellungsmachern gehört.

Die Szenarien sollten sich vornehmlich mit folgenden Themen beschäftigen: Urbanisierung, Ernährung, Mobilität, Evolution, Mensch-Maschine, Natur, Umweltbewusstsein. Sie können z. B. darstellen, was passiert, wenn die Menschheit oder einzelne Gesellschaften »zurück zur Natur« wollen, wenn sie alle Probleme mit Technik zu lösen versuchen, wenn sie auf Bedrohungen nur reagieren, wenn ihr Leben von Katastrophen bestimmt wird oder wenn eine Verknüpfung von Technik und Natur gelingt. Der Zeithorizont sollte zwischen 2020 und der fernen Zukunft liegen.

Die Beiträge fließen in die Vorbereitung der Sonderausstellung »Anthropozän« ein und müssen dafür frei verwendbar sein. Sie werden von einer hochkarätig besetzten Jury nach den Kriterien Originalität, Kreativität und Plausibilität bewertet. Die prämierten Beiträge werden zudem während der Ausstellungszeit in prominenter Weise veröffentlicht.

Der Ideenwettbewerb richtet sich an Gruppen und Institutionen wie z. B. Schulklassen, Vereine, Behörden, Hochschulen und Initiativen sowie interessierte Einzelpersonen. Eingereicht werden können Essays von max. 2000 Wörtern Länge, grafische Darstellungen, Comics und Kurzfilme bis maximal vier Minuten Länge.

Beiträge können bis spätestens 9. August 2013 in digitaler Form, in Deutsch oder Englisch, unter vielezukuenfte@deutsches-museum.de eingereicht werden.

Nähere Informationen zur Ausstellung: www.deutsches-museum.de/ausstellungen/sonderausstellungen/ 2014/anthropozaen/

Das Deutsche Museum lädt zu einem Ideenwettbewerb ein.

### **Deutsches Museum** Verkehrszentrum

Zivilcourage-Kurse Samstag, 24. August 2013, 10.00 Uhr Freitag, 6. September 2013, 13.30 Uhr

Mit Herz und Verstand handeln, Notfall? Du hilfst - ich auch!

Wie helfe ich mir selbst? Wie helfe ich anderen? Vermittelt werden leicht erlernbare Tipps zur Selbstbehauptung und Zivilcourage, wie man Gefahrensituationen vermeiden kann, aber auch Hinweise zum Umgang mit Rettungs- und Hilfeeinrichtungen im öffentlichen Raum, z. B. Defibrillator, Notrufeinrichtungen in U- und S-Bahnen.

Fahrgäste in den Verkehrsmitteln des Münchner Verkehrsund Tarifverbundes fahren sicher. Aber dennoch gibt es manchmal Situationen, in denen Zivilcourage gefragt ist. Wie man kritische Begebenheiten vermeiden oder im Notfall richtig reagieren kann, vermitteln erfahrene Einsatzkräfte.

Das Polizeipräsidium München, die Bundespolizeiinspektion München und die Aktion Münchner Fahrgäste veranstalten dieses Verhaltenstraining für Fahrgäste.

Die Anmeldung erfolgt im Internet unter: www.fahrgaeste.de

## Meinungen und Kommentare von Lesern



### Kultur&Technik 1/2013

### Fragwürdige Behauptung S. 6–11, »Vernetzte Kreativität«, von Michael Vogel

Insgesamt eine sehr schöne Ausgabe! Die Bemerkung, »Kline kam nur bis zum ›g‹ des Wortes ›login‹« erscheint mir allerdings als äußerst fragwürdig, auch wenn sie im Artikel aufgestellt und in der Bildbeschreibung wiederholt wird. Im Englischen und vor allem im amerikanischen Englisch bezeichnet »log« ein technisches Protokoll.

Als ich als Vertreter von Siemens im ATM-Forum technische Spezifikationen (Industrienormen) mit ausgearbeitet habe, hatten wir zu jeder Spezifikation in der Entwurfsphase immer die dazugehörige »log«, die alle Änderungen am Dokument protokollierte.

Im Deutschen kennen wir das Wort Log-Buch. Und bei dem, was wir auf dem Notizzettel sehen, handelt es sich genau genommen um ein technisches Protokoll. Ich halte also die Überschrift »IMP LOG« für komplett. Für meine These spricht darüber hinaus, wie schön mittig die Überschrift gesetzt ist.

Dr. Alexander Milinski (per Mail)



### Kultur&Technik 2/2013

### Unangemessen positiv S. 44–47, »Similia similibus curentur«, von Klaus Gertoberens

In Ausgabe 2/2013 von Kulture-Technik musste ich zu meinem Erstaunen (und Entsetzen) einen Beitrag über die Homöopathie lesen, der diesen pseudowissenschaftlichen Unfug in völlig unangemessen positiver Weise (»sanfte Heilmethode«) darstellt! Von der Mitgliederzeitschrift eines Wissenschafts(!)- und Technikmuseums hätte ich dies nicht erwartet. Immerhin widersprechen die Grundannahmen der Homöopathie krass sämtlichen Erkenntnissen der modernen Wissenschaft der letzten 100 Jahre.

Kurz gesagt, in unserem Universum kann die Homöpathie nicht so funktionieren, wie ihre Anhänger das behaupten. [...] Ich werde die nächste Ausgabe von »Natur&Technik« sehr neugierig durchblättern, auf der Suche nach einer kritischen »Gegenrede« zum Artikel von Klaus Gertoberens. Sollte ich keine finden, werde ich meine (seit vielen Jahren bestehende) Mitgliedschaft beim Deutschen Museum zum nächstmöglichen Zeitpunkt kündigen.

Andreas Parsch, München

### Nacktes Entsetzen

In der aktuellen Ausgabe von Kulture Technik bin ich auf einen Artikel über Homöopathie gestoßen. Sicherlich gehört medizinhistorische Forschung zu den originären Aufgaben des Deutschen Museums. Beim Lesen des Artikels packte mich allerding das nackte Entsetzen. Dort wird die Homöopathie als eine medizinische Richtung dargestellt, an der vielleicht doch etwas dran sein könnte.

Als ein Ort naturwissenschaftlich-technischer Bildung kann sich das Deutsche Museum meines Erachtens so etwas nicht leisten, widerspricht diese Lehre doch den in den letzten Jahrhunderten gewonnenen naturwissenschaftlichen Erkenntnissen. Dieser Sachverhalt wird in dem Artikel kein einziges Mal erwähnt.

Der Verfasser, Herr Gertoberens, stellt aus naturwissenschaft- licher Sicht vorgetragene Einwände als »Missverständnisse und Vorurteile« dar; ja er geht sogar so weit, homöopathiekritische Bücher polemisch als »Kampfschrift« zu bezeichnen. Das ebenfalls erwähnte homöopathiekritische Marburger Manifest wird als »besonders krasses Beispiel« angeführt.

Dass es dem Artikel an der für unser Museum gebotenen Neutralität fehlt, zeigt auch das Verzeichnis weiterführender Informationen am Schluss: Hier finden sich ausschließlich Links zu homöopathischen Organisationen. [...] Mit diesem Artikel können sich nun Esoteriker auf eine Bestätigung ihrer Thesen durch das Deutsche Museum berufen

Ich bitte Sie inständig, als Naturwissenschaftler von Rang und Namen und als Generaldirektor des Deutschen Museums, hier einzuschreiten. Der Artikel hat dem Deut-

schen Museum m. E. nachhaltig Schaden zugefügt.

Rüdiger Kuhnke, München

### Moderne Quacksalberei

[...] Ich war entsetzt, ausgerechnet in einer seriösen Zeitschrift einen solch unkritischen Text über die moderne Quacksalberei zu finden. Die biographischen Ausführungen habe ich nicht nachgeprüft, sie werden wohl zutreffen. Dass der Verfasser von »Anfeindungen« durch die Schulmedizin spricht, zeigt deutlich seine mangelnde Kenntnis von naturwissenschaftlichen Methoden.

Die »Weiterführenden Informationen« kann man nur als Reklame für Volksverdummung verstehen. Ich hoffe, dass Ihnen ein solcher Missgriff bei der Wahl von Autoren für wissenschaftliche historische Texte nicht wieder passiert. Vielleicht ist es schon passiert, aber ich habe es nicht gemerkt. Bei der Homöopathie ist es heute aber sehr leicht, den Unsinn zu erkennen.

Richard Schorn, Kaufbeuren

### Außer Betrieb

S. 52–57, »Mit dem Smartphone ins Museum«, von Lorenz Kampschulte Der Artikel befasst sich mit sehr aufwendigen und extrem teuren Lösungen – während zur gleichen Zeit immer mehr eindrucksvolle Exponate (z. B. Hörner-Trafo) »Außer Betrieb« gehen oder immer seltener vorgeführt werden (z. B. Hochspannungsversuche – um das endgülti-



gen Auseinanderfallen der Anlage noch etwas hinauszuzögern?).

Für mich macht gerade das persönliche Erleben in der Wirklichkeit den Reiz eines Museumsbesuchs aus – Filmchen kann ich mir bequemer zu Hause anschauen als auf dem Mini-Display Smartphones. [...] Als Ingenieur bin ich dem sinnvollen Einsatz neuer Technologien natürlich sehr aufgeschlossen - allerdings ohne kostenträchtigen Schnickschnack.

Kennen Sie eigentlich die Apps »Trip-Advisor« in der Version für eine Stadt oder die Apps der Deutschen Bahn? Dort könnte man sich einiges abschauen, um den Wohlfühlfaktor deutlich zu erhöhen, den ich leider gelegentlich in ganzem Umfang zu spüren bekomme, wenn mich mehr als 1 Besucher ins Museum begleiten will: Das Anstehen beim Kartenkauf war schon immer sehr lästig – zur Zeit hat man dabei auch noch reichlich Gelegenheit, frische Luft zu schnappen und das derzeitige frühlingshafte Reiz-Klima auf sich im Museumshof einwirken zu

Gerade nicht besonders hart gesottene Outdoor-Fans würden es sicher begrüßen, sich ohne ewige Warterei an den Kassen (währenddessen auch riesigste Datensätze

mühelos aufs Smartphone geladen werden könnten) in die regengeschützte Eingangshalle begeben zu können. Dort könnten sie in aller Ruhe die Deutsche-Museum-App herunter laden, um dann ein Online-Ticket zu buchen [...]

Das wichtigste Feature einer Museums-App ist natürlich ein Führungs-Alarm: »Achtung, begeben Sie sich jetzt umgehend zur Vorführung der Hochspannungsanlage, die in 10 Minuten beginnt - bei Ihrem nächsten Besuch in einigen Jahren könnte dieses ehemalige Highlight des Deutschen Museums total verrottet sein. (Wir werden Ihnen dann natürlich gern auf dieser App ein Filmchen aus besseren Zeiten anbieten.)«

Leo Rademacher, Holzkirchen

Wir freuen uns über Ihre Meinungen zum Magazin. Ein Anspruch auf Abdruck eines Leserbriefs besteht allerdings nicht. Die Redaktion behält sich die Auswahl und ggf. auch Kürzung vor. Die Beiträge geben nicht die Meinung der Redaktion wieder.

#### Ihren Leserbrief schreiben Sie bitte an:

Redaktion Kultur und Technik Parkstraße 29a 80339 München, oder an: kute@publishnet.de

#### DEUTSCHES MUSEUM FLUGWERFT 27, bis 28, Juli 2013



### Flugwerft Fly-In 2013

Es ist wieder einmal so weit! Ende Juli lädt die Flugwerft in Schleißheim zum beliebten Fly-In. Etwa 35 historische und seltene Flugzeuge sind auf dem Freigelände der Flugwerft zu Gast, die man aus der Nähe betrachten, filmen und fotografieren kann. Die faszinierenden Oldtimer der Lüfte haben Luftfahrtgeschichte geschrieben und sind in dieser Vielzahl selten zu sehen. Geplant ist, dass die Flugzeuge im Laufe des Samstagvormittags einfliegen. Sie können dann bis zur Schließung des Museums um 17.00 Uhr besichtigt werden. Der Abflug erfolgt am Sonntagnachmittag, je nach Wetterlage. Eintrittspreise: Museumseintritt.

### DEUTSCHES MUSEUM BONN 14. Juli 2013



### Aktionen des Deutschen Museums Bonn zum Familienspielefest 2013 in der Rheinaue Bonn

Das Deutsche Museum Bonn nimmt erstmalig am Familienspielefest 2013 teil, das traditionell wieder den Auftakt zur Sommerferienaktion »In Bonn ist was los« bildet. Es findet diesmal am Sonntag, den 14. Juli 2013 zwischen 11 und 18 Uhr statt, und zwar wie gewohnt in der Bonner Rheinaue. Im Gegensatz zum Vorjahr wird nur der Standort verändert: von der »Löffelwiese« auf die »Kleine Blumenwiese« am Fuße des Haupteingangs zur Rheinaue.

Am Stand des Deutschen Museums Bonn findet sich ein »Spiel der Kräfte«. In Experimenten mit Besen, Lineal und Kleiderbügel werden physikalische Hintergründe einfach und spannend zu den Themen Kraft, Gleichgewicht und Schwerpunkt sichtbar gemacht.



ch wage es kaum zu sagen, aber es ist tatsächlich wahr. Keine Fata Morgana, keine Illusion, kein Hirngespinst. Fräulein Schröder und ich sind ausgezogen. Nach gefühlten 1000 Jahren haben wir unsere sieben Sachen gepackt und sind gegangen. Frau Melkfuß wird uns keine Träne nachweinen und wir ihr auch nicht. Nicht, dass ich mich je nach irgendwelchen Reihenhaussiedlungen am Stadtrand gesehnt hätte. Aber irgendwann kommt eben das Schicksal und sagt: »Hey du, ja du, dich meine ich. Deine Zeit hier ist längst schon um, die wilde Zeit, die Zeit der Ausschweifungen, die Zeit, wo du arm, aber glücklich, unbehaust, aber frei warst. Jetzt beginnt eine andere Zeit, draußen, da, wo die braven Bürger wohnen, Menschen, die ihren Rasen mähen und die Hecken schneiden. Da musst du jetzt hin, denn auch du, selbst wenn du es gar nicht gewusst hast, du bist inzwischen ein Bürger geworden. Sieh dich nur an. Deine Haare sind grau, du hast ein regelmäßiges Einkommen und du denkst darüber nach, ein Wohnmobil zu kaufen. Wenn das kein Beweis ist!« Ich sagte: »Hey du, du ewiges Schicksal, und du, du eherne Zeit, soll das ein Witz sein? Ein schlechter Scherz?« Aber das Schicksal war nicht aufgelegt zu Scherzen und so sorgte es dafür, dass Tante Gunda der Schlag traf und Fräulein Schröder ein Reihenhaus erbte. Ich gebe zu, ich fürchtete mich und pfiff das Lied vom Maschendrahtzaun. Ich dachte an Gartenzwergorgien. Ich dachte an Barbecue mit Leuten, die meine neuen Nachbarn waren, und denen ich so freundschaftlich auf die Schulter klopfte, als kennte ich sie nicht erst zwei Monate, sondern mein halbes Leben. Ich dachte an einsame Hausfrauen, die mir erst ihren selbst gebackenen Erdbeerkuchen und dann ihren Erdbeermund anböten. Fräulein Schröder aber sagte: »Lass es uns einfach versuchen. Wir zahlen keine Miete mehr, wir haben mehr Platz, wir haben einen Garten.« Da dachte ich an eigene Kartoffeln, an Karotten und Zucchini, an Kohlrabi, Bohnen und Gurken. An die Stellagen mit Weckgläsern, die Saftflaschen, die auf Fäden gezogenen Apfelringe, die ganze Pracht im Keller meiner Großund Urgroßeltern. Und ich sagte »ja«.

Die erste Person, die sich uns vorstellte, war Herr Hecker, der Nachbar zur Rechten. Herr Hecker hatte seinen Garten fast vollständig mit Betonplatten gepflastert. In drei traurigen Kübeln lebten drei traurige Gewächse. Er trug einen Hut mit Gamsbart und starrte die ganze Zeit auf Fräulein Schröder. Seine Frau sei ja gestorben, sagte er. Schwermut, sagte er. Sie habe das alles nicht mehr ausgehalten. Er wünschte uns viel Glück im neuen Heim. Und dann sagte er noch, wir hätten ja ne ganze Menge Bäume in unserem Garten, die viel Schatten spendeten. Vor allem auf seiner Seite. Was genau dieses »alles« gewesen war, das seine Gattin nicht mehr ausgehalten hatte, verriet er uns nicht. Und als Herr Hecker gegangen war, lernten wir Familie Zack kennen, die Nachbarn zur Linken. Die Zacks, das waren Peter Zack und Elke Zack und ihre Kinder Tom Zack und Steffi Zack. Die Kinder hüpften auf einem riesigen Trampolin, sprangen in ihrem Planschbecken, brachten

ihre Schaukel zum Schwingen und eroberten unter Kampfgeheul ihre Kletterburg. Zacks wünschten uns viel Glück im neuen Heim und auf gute Nachbarschaft und so. Und dann sagte die Elke noch, dass diese ganzen Kiefernnadeln doch sehr lästig seien. Wenn wir eine Säge bräuchten, die würde uns der Peter sicher gerne leihen. Und schließlich begegneten wir noch der Silvia, Silvia Badura oder Bandona oder Pandora, ich hab den Nachnamen nicht genau verstanden. Die Silvia wohnt hinter unserem Garten in der Reihe gegenüber. Onkel Otto hätte sie mit ihren platinblonden Haaren und schwarzen Lackstiefeln einen steilen Zahn genannt, wenn auch einen etwas verlebten. Die Silvia hatte anscheinend keinen Mann, dafür aber eine Art Hund, den sie Schnucki nannte. Schnucki fand offenbar Gefallen an meinen Hosenbeinen. Ihr Schlafzimmer sei ziemlich dunkel, teilte uns die Silvia mit. Wegen der Tannen. »Welche Tannen?«, fragte ich. »Na, eure Tannen da.« Sie habe einen Bekannten, das sei ein richtiges Mannsbild, der würde die in Nullkommanix umhauen können. Und als sie das Wort Mannsbild sagte - es ist mir nicht entgangen –, traf mich ein mitleidiger Blick.

Die Wochen gingen dann so dahin und wir kamen aus unseren Malerklamotten überhaupt nicht mehr heraus. Dann lag eines Morgens ein Brief in unserem Kasten, den alle Nachbarn unterschrieben hatten. Darin wurden wir aufgefordert, unsere Bäume möglichst bald zu entfernen. Die Bäume stellten eine allgemeine Belästigung da. Schatten, Wurzeln, Nadeln, Blätter etc. Auch umstürzen könnten sie bei Wind. »Was haben die Leute denn nur gegen Bäume?«, fragte ich Fräulein Schröder. »Ich liebe Bäume. Bäume sind toll. Wenn das hier so weitergeht, dann zieh ich wieder in die Stadt. Das ewige Gelärme vor dem Mykonos, Deep Purple um Mitternacht aus Striezels Wohnung, das Geschrei der Körnerschen Schrazen von oben und selbst die Melkfuß mit ihrem Besen, das ist ja alles völlig harmlos gegen diese Zusammenrottung von Baumpsychopathen mit ihrem Unterschriftenterror.« Ich glaube, Fräulein Schröder erschrak ein wenig bei dieser Ankündigung. »Hab doch noch etwas Geduld«, bat sie fast schon flehend, »die finden sich schon irgendwann damit ab.« Ich weiß auch nicht, wie es dann dazu kommen konnte. Das Schreiben des Heckerschen Rechtsanwalts war vermutlich der Auslöser. Ich hatte mir jedenfalls ein paar Sprühdosen besorgt und eine 30 Meter lange Gebäudeplane. Die habe ich rings um unseren Garten gespannt. Den Zacks sprühte ich einen gigantischen Spielplatz mit Scharen von johlenden Kindern. Der Silvia malte ich einen Strand mit Palmen und lauter Muskelprotze und dreizehn verschiedene Schnuckis. Und der Herr Hecker, der bekam einen Parkplatz, auf dem kein einziges Auto parkt. Nur ein Hut liegt da verloren und zerknautscht am Rande. Fräulein Schröder und ich aber, wir sehen jetzt nur noch unsere Bäume. Und die Nachbarn, die sehen wir nicht mehr. Es geht doch nichts über ein paar anständige Illusionen. Bin mal gespannt, wann die uns auf Knien bitten, die Plane wieder abzuhängen.

Text: Daniel Schnorbusch, Illustration: Jana Konschak



Dr. Daniel Schnorbusch geboren 1961 in Bremen, aufgewachsen in Hamburg, Studium der Germanistischen und Theoretischen Linguistik, Literaturwissenschaft und Philosophie in München, ebendort aus familiären Gründen und nicht mal ungern hängen geblieben, arbeitet als Lehrer. Dozent und freier Autor.