

Herbst 2004, Thema Nr. 1, *Modelle im Physikunterricht*

Referentin: Mareike Koch
Dozent: Dr. Thomas Wilhelm
Datum: 16.11.2006

Aufgabe 1: *Diskutieren Sie aus fachdidaktischer Sicht die Bedeutung von Modellvorstellungen im Physikunterricht!*

Der Modellbegriff spielt im wissenschaftlichen Sprachgebrauch eine bedeutende Rolle. Insbesondere gilt dies für die Naturwissenschaft, aber auch in (Geistes-) Wissenschaften hat der Modellbegriff Einzug gehalten (z.B. Psychologie, Wirtschaftswissenschaften, etc.). Da ist es nicht verwunderlich, dass bei dieser weiten Verwendung des Begriffes der Sprachgebrauch nicht einheitlich ist. Oft kann nur aus dem Zusammenhang erschlossen oder vermutet werden, welchen Modellbegriff ein Autor seinen Überlegungen zugrunde legt.

Besonders in der Physik ist der Modellbegriff nicht mehr wegzudenken. Das Arbeiten mit Modellen ist zu einer durchaus effizienten Arbeitsweise aufgestiegen, die das „Verstehen“ von physikalischen Vorgängen bzw. Strukturen unterstützen soll.

Unter einem *Modell* versteht man eine Abbildung der Wirklichkeit, die sich auf bestimmte Eigenschaften beschränkt. Die Auswahl dieser Eigenschaften richtet sich danach, wofür das Modell geschaffen wird. Unwichtiges kann dabei außer Acht gelassen werden. Dabei darf die wahre Natur des Originals jedoch nicht verfälscht wiedergegeben werden.

Der Modellbegriff kann in Anlehnung an Stachowiak in drei Kategorien eingeteilt werden:

- *bildhafte (ikonische), reale Modelle*
- *analoge Modelle*
- *formale (mathematische) Modelle*

Eine gebräuchlichere Einteilung ist die Unterscheidung zwischen

- *gegenständlichen Modellen (Sachmodellen)*
- *ikonischen Modellen (bildhaften Modellen) und*
- *symbolischen Modellen (abstrakt-mathematischen Modellen)*

Gegenständliche Modelle sind plastische, real existierende Objekte, die der Schüler in der Regel anfassen kann. Diese Modelle fordern von Schülern wenig geistiges Abstraktionsvermögen und bieten die Möglichkeit, Bewegungsabläufe zu beobachten, und die Auswirkungen von Veränderungen selbst spielerisch zu erfahren. Daher zählen diese Modelle zu den verständlichsten Modellen. Man kann diese Modellgruppe in Modelle von Technikgegenständen (mehr oder weniger wirklichkeitsgetreue Nachbildungen technischer Geräte) und in Modelle von Vorstellungen (gegenständliches Darstellen einer Theorie oder eines geistigen Modells) untergliedern.

Ikonische Modelle sind skizzenhafte Bilder von Vorstellungen bzw. Vorbilder im Sinne eines verkleinerten Abbildes. Dies können zum einen Modelle sein, die durch die Idealisierung der Realität entstehen (z.B. Modell des Lichtstrahls), zum anderen Modelle, die nur in der Vorstellung existieren und somit geringen Realitätsbezug aufweisen (z.B. Teilchenmodell eines Festkörpers, das Elektron). Bzgl. ihrer geistigen Anforderungen an die Schüler sind diese Modelle etwa vergleichbar mit den gegenständlichen Modellen. Ikonische Modelle besitzen den Nachteil, dass sie zweidimensional und nicht dynamisch sind.

Symbolische Modelle fußen auf Begriffen aus der Mathematik, deren Struktur durch Formeln oder Regeln festgelegt ist. Diese Modellkategorie zählt zu der leistungsfähigsten Stufe des Modellbegriffs, die jedoch auch das größte Abstraktionsvermögen seitens der Schüler fordern.

Allen Modellarten kommen wichtige Merkmale zu. Dazu zählt zum einen das Abbildungsmerkmal, eine Abbildung eines künstlichen „Originals“ (z.B. Fotografie, Stadtplan), das Verkürzungsmerkmal und das Subjektivierungsmerkmal. Das Verkürzungsmerkmal dient u.a. dazu, die jeweiligen Grenzen eines Modells aufzuzeigen, denn ein Modell kann eben nur einen Teil der Eigenschaften des durch sie repräsentierten Originalsystems erfassen. Auch das Subjektivierungsmerkmal macht deutlich, dass Modelle ihrem Original nicht eindeutig zugeordnet sind, da sie von Menschen geschaffene Dinge sind, die durch ihre historische Dimension in ihrer Absolutheit relativiert sind.

Längst sind Modelle nicht mehr nur allein Werkzeuge der modernen Naturwissenschaften, sondern werden vermehrt in den Schulunterricht, besonders den Naturwissenschaften Physik und Chemie, integriert. Die im Physikunterricht verwendeten Modelle sind aus lern- und entwicklungspsychologischen Gründen meist aus dem Bereich der gegenständlichen bzw. ikonischen Modellkategorien gewählt. Mit zunehmendem Alter und physikalischem Verständnis kann der Komplexitätsgrad eines Modells zunehmen, so dass gegen Ende der Sekundarstufe I bereits Atommodelle besprochen werden können.

Trotz der recht komplizierten Handhabung von Modellen haben diese im Physikunterricht dennoch ihre Berechtigungen. So wird dem Schüler ermöglicht, die Denkweise der Physik kennen zu lernen. Physik wird nicht als fertige Erfolgswissenschaft präsentiert, sondern als sich ständig weiterentwickelnde und von vielen „schlauem Köpfen“ verbesserte Erkenntniswissenschaft. Betrachtet man etwa die lange historische Entwicklung, die zur Erkenntnis führte, dass Atome keine Teilchen im Sinne eines makroskopischen Modellkörpers sind, so wird dem Schüler aufgezeigt, dass dieser Prozess der Erkenntnisgewinnung nicht nur von Erfolg gepflastert war (und dass dies auch bei aktueller Forschung ebenso wenig zutrifft), sondern, dass Rückschläge auch immer wieder dazu dienten, aktuelle Erkenntnisse neu zu überprüfen und mit neuen Ansätzen weiterzuarbeiten. Dies wiederum ist auch ein Hinweis darauf, dass Schüler nicht von selbst den Modellcharakter vieler physikalischer Begriffe erkennen können.

Modelle dienen als Hilfsmittel um komplizierte Phänomene zu beschreiben. Durch sie besteht die Möglichkeit, komplizierte, nicht visualisierbare Strukturen in einer verständlichen Art und Weise vereinfacht darzustellen und zu beschreiben. Insbesondere ikonische Modelle eignen sich zum „Lernen mit Modelle“. Ein Lernen am Modell hilft den Schülern zu erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Einsichten zu gelangen. So ist es ihnen möglich, den physikalischen Erkenntnisprozess und die Physik zu verstehen. Anstelle der erstrebten Erkenntnis des „wahren Wesens“ tritt die Konstruktion brauchbarer Modelle der Wirklichkeit.

Modelle sind wie die Physik keine fertigen Konstrukte der Theorienbildung. Jedes Modell ist durch seine Grenzen beschränkt. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass die im Umgang mit Modellen geübten Schüler ihre Kenntnisse auf das neue Problem projizieren können und somit eigene Modelle im Unterricht entwickeln können.

Allerdings ist bei der Verwendung von Modellen im Unterricht auch Vorsicht geboten. Oft bereitet den Schülern die Trennung zwischen Modell und dem, was durch das Modell beschrieben werden soll, große Schwierigkeiten. Daher sollten am Anfang nur Modelle verwendet werden, die nicht perfekt sind. Aus diesem Grunde treten auch manche Modelle,

etwa das „Teilchenmodell“ im Sinne eines spiralig angelegten Curriculums immer wieder in Erscheinung.

Die Verwechslung zwischen Modell und Wirklichkeit führt zu Missverständnissen über die physikalische Denkweise. Dennoch sind Schüler, wie bereits erwähnt, in der Lage, Modelle zu entwickeln.

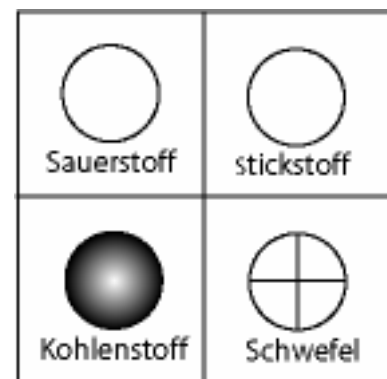
Aufgabe 2: Stellen Sie anhand dreier Atommodelle dar, wie sich das Wissen über den Aufbau der Materie weiterentwickelt hat! Diskutieren Sie, ob und gegebenenfalls wie diese Modelle im Unterricht eingeführt werden können!

Mit Hilfe von Atommodellen konnte wesentlich zum Wissen über den Aufbau der Materie beigetragen werden. Noch bis zu Beginn des 20. Jh. zweifelten ernst zu nehmende Wissenschaftler (so z.B. Ernst Mach) an der Existenz von Atomen. Erst Albert Einsteins Arbeit (1905), in der er die Brownsche Molekularbewegung erklärte, verhalf der Atomvorstellung zur allgemeinen Anerkennung.

Es wurden viele „Atommodelle“ entwickelt, von denen sich jedoch keines als das absolut zutreffendste einstufen lässt, da sie aufgrund ihrer durch Experimente nachgewiesenen Grenzen entweder verworfen oder zu verbesserten neuen Modellen weiterentwickelt wurden.

Zu den klassischen Modellen zählen etwa Daltons Kugelmodell, das Rosinenmodell von J.J. Thomson, das Kern-Hülle-Modell von Rutherford, das Bohrsche Atommodell und das Sommerfeldsche Ellipsenmodell. Zu den nachfolgenden „Atommodellen“, die aufgrund der Erkenntnisse durch die Quantenmechanik immer mehr an Anschaulichkeit verloren haben und ein sehr hohes Abstraktionsvermögen erfordern, zählen die Orbitalmodelle von Schrödinger und Born, Kimballs Kugelwolken-Modell und weitere Modelle für den Atomkern (Bethe, Weizsäcker).

Daltons Kugelmodell gilt als eine der ersten anerkannten Arbeitshypothesen der modernen Naturwissenschaften, die naturphilosophische Aspekte der Antike wieder aufgreift (Leukipp, Demokrit, Epikur, u.a.). Das Modell beschreibt Atome und ihre Wechselwirkung durch die Vorstellung von kleinen kugelförmigen, gleichmäßig mit Materie erfüllten, vollkommen elastischen Gebilden. Dieses Teilchenmodell liefert Erklärungen für die Grundgesetze der Chemie, die kinetische Theorie der Materie mit Änderung der Aggregatzustände, Diffusion und Osmose, Brownsche Bewegung, Lichtstreuung. Unerklärt durch dieses Modell bleiben das Phänomen der Radioaktivität, chemische Bindungskräfte, das Periodensystem der Elemente und Experimente zur Streuung von Teilchen an Atomen.



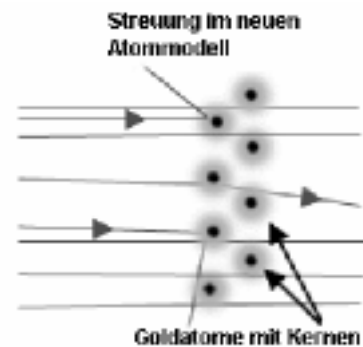
Kugelmodell nach Dalton

Falls dieses Atommodell noch nicht aus dem Chemieunterricht bekannt sein sollte, sollte es in Unterrichtseinheit über Atommodelle als eines der ersten Modelle eingeführt werden. Mit Hilfe dieser Übergangsvorstellung vom Aufbau der Materie können z.B. die drei Aggregatzustände besprochen und mit Hilfe eines geeigneten Mediums – wie etwa dem Luftkissentisch – veranschaulicht werden. Mit Hilfe des Ölfleckversuches kann man die Frage nach der Größe der Atome motivieren. Der Mischungsversuch, bei dem Wasser und Alkohol zu je gleichen Anteilen gemischt wird, wirft bei den Schülern einen kognitiven Konflikt auf, da ein triviales Ergebnis brutal in Frage gestellt wird.

Um etwaigen Fehlvorstellungen vorzubeugen, sollte man zur Erläuterung dieses einfachen „Kugelmodells“ nicht unbedingt nur Kugeln als Teilchen verwenden, sondern bewusst nichtkugelförmige Formen benutzen.

Bereits gegen Ende des 19. Jh. entstanden erste planetarische Atommodelle. Sie verstehen das Atom als verkleinertes Abbild eines Sonnensystems mit umlaufenden Elektronen entsprechend den Planeten. Durch Rutherfords Arbeiten zur Streuung von α -Teilchen an Atomen erhielt diese Vorstellung eine wesentliche Stütze. Bei den Streuversuchen ergab sich eine wesentlich größere Anzahl von rückwärts gestreuten Teilchen, als sich im Modell einer ausgedehnten Ladungswolke erwarten ließ.

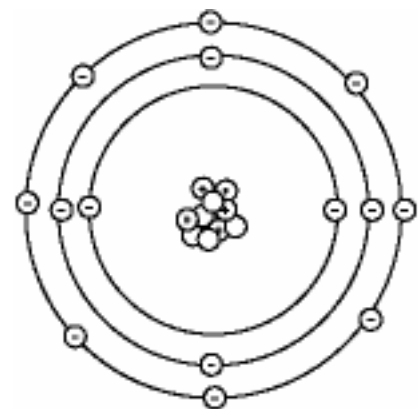
Das Rutherfordsche Atommodell wird beschrieben als kugelförmiges Gebilde, gegliedert in Kern und Hülle. Der positive Kern enthält die gesamte Masse des Atoms. Um ihn laufen die Elektronen auf Kreis- und Ellipsenbahnen. Mit Hilfe dieses Modells lassen sich die Streuversuche von Lenard und Rutherford, sowie das periodische System der Elemente erklären. Ungeklärt bleiben weiterhin das Phänomen der Radioaktivität und die der klassischen Elektrodynamik widersprechende Stabilität der Atome. Da eine beschleunigte elektrische Ladung Strahlung abgeben müsste, könnte nach diesem Modell ein Atom nur 10^{-8} sec leben, bevor es in den Kern stürzen würde.



Kern-Hülle-Modell nach Rutherford

Das Kern-Hülle-Modell von Rutherford ermöglicht eine Erweiterung der im Unterricht bereits besprochenen Atommodelle. Mit Hilfe eines Modellversuches, bei dem ein geladener, metallisierter Tischtennisball auf einer Bandgeneratorkugel fliegt, kann das Kern-Hülle-Modell eingeführt werden. Weitere Experimente mit geladenen Körpern und glühenden Drähten zeigen, dass in den Atomen Elektronen enthalten sind.

Das Bohrsche Modell stellte eine wichtige Fortentwicklung des Rutherfordschen Kern-Hülle-Modells dar. Mit drei Postulaten ließ sich ein wichtiger Teil der spektroskopischen Daten zusammenfassen. Dieses Modell lieferte eine Erklärung des Wasserstoffspektrums, den empirischen Durchmesser des Wasserstoffatoms, die Aufbauprinzipien des periodischen Systems, der im Franck-Hertz-Versuch beobachteten Energiestufen, sowie der Rydbergkonstante. Jedoch weist auch dieses Modell Mängel auf. So sind z.B. Berechnungen von Mehrelektronensystemen in den Atomhüllen schwerer Elemente nicht möglich. Die Postulate stehen unbegründet im Raum. Die Feinstruktur der Spektrallinien wird nicht erklärt und die Quantisierungsvorschrift sagt falsche Drehimpulse der Zustände voraus.



Bohrsches Atommodell

Dieses Modell geht über den Stoffplan der Sekundarstufe I hinaus und ist in den Physikunterricht der Oberstufe eingegliedert. Dort wird man bei der Untersuchung von Spektrallinien auf dieses Modell zu sprechen kommen. In der Sekundarstufe I wird dieses Modell – wenn überhaupt – nur qualitativ besprochen (stark vom Lehrer geleitet). Für die weiteren Betrachtungen genügen das Kugelmodell und das Kugel-Hülle-Modell, welche

später um das Modell vom Aufbau eines Atomkerns zur Erläuterung der Radioaktivität erweitert werden.

Die drei beschriebenen Atommodelle zeigen, wie sich das Wissen über den Aufbau der Materie von Dalton bis Bohr weiterentwickelt hat. Dabei lieferte ein neues Modell Erklärungen für nicht geklärte Fragen eines vorangegangenen Modells, und zeigt gleichzeitig seine Grenzen auf, so dass eine verbesserte Version bzw. ein neues Modell erstellt werden muss. Ausgehend von der einfachsten Vorstellung der Materie bei Dalton ist es beispielsweise bereits mit Hilfe des Rutherford'schen Kern-Hülle-Modells möglich, das periodische System der Elemente zu erklären. Mit Hilfe des Bohrschen Atommodells können die Aufbauprinzipien des Periodensystems erklärt werden.

Die späteren Modelle distanzieren sich vom klassischen Teilchenbild (Kopenhagener Deutung). Daher werden diese Modelle aufgrund dieser Kompliziertheit nicht im Physikunterricht behandelt.

Kein Modell von Atomhülle oder Atomkern stimmt vollständig mit der Wirklichkeit der Natur überein. Die Frage, wie ein Atom wirklich ist, kann niemals vollständig beantwortet werden. Aufgrund dieser Situation erscheint es didaktisch sinnvoll zu sein, nicht ein Modell zu verwenden, und dieses als die Wahrheit anzugeben. Es ist sicher besser, von Anfang an auf die Schwierigkeiten bei der Erkenntnis der Natur der Atome hinzuweisen und den Abbildungscharakter von Modellen herauszustellen. Dann kann man sich auf das jeweils einfachste Modell beschränken, welches dem Stand der erarbeiteten Kenntnisse entspricht. Die geschichtliche Entwicklung gibt dafür Anregungen. Dass Modelle prinzipiell verkürzte Abbilder sind, muss dann aber zu den Lernzielen gehören.

Wichtig bei der Einführung ist, dass die Schüler in ihrer Erfahrungswelt abgeholt werden.

Aufgabe 3: Beschreiben sie den α -Zerfall mit Hilfe einer einfachen Modellvorstellung vom Aufbau des Atomkerns! Skizzieren sie ausgehend von dieser Modellvorstellung eine Unterrichtsstunde zum Thema „der α -Zerfall“! Geben Sie Lernvoraussetzungen, Lernziele (Grob- und Feinziele) und Medien an!

Bestimmte Atomkerne sind nicht stabil. Sie zerfallen unter Aussendung radioaktiver Strahlung, u.a. α -Strahlung. Beim α -Zerfall greifen die in Aufgabe 2 beschriebenen Modellvorstellungen von Rutherford und Bohr nicht mehr, da diese nur Prozesse außerhalb des Kerns, also nur in der Atomhülle beschreiben. Der α -Zerfall ist jedoch ein Prozess, der innerhalb des Atomkerns abläuft. Ein einfaches Modell zum Aufbau eines Atomkerns, das auf den Nachweis des Neutrons durch Chadwick (1932) zurückgeht, beschreibt den Atomkern als ein Gebilde, welches Protonen und Neutronen enthält. Die Kernkräfte geringer Reichweite halten diese Kernbausteine zusammen. Beim α -Zerfall sendet der Kern einen Heliumkern, d.h. ein α -Teilchen aus (α -Strahlung). Dadurch verringert sich die Massenzahl des Kerns um 4, die Kernladungszahl um 2.



Im Physikunterricht der Realschule werden α -, β - und γ -Strahlung meistens zusammen behandelt um diese aufgrund ihres unterschiedlichen Ablenkungsverhaltens im Magnetfeld oder ihrer unterschiedlichen Reichweiten in die drei bekannten Strahlungskategorien einzuteilen.

Der α -Zerfall ist in den Stoffplan der 10. Klasse einzustufen. Den Schülern ist die Arbeitsweise mit Modellen bereits aus den Themengebieten der Optik, Wärmelehre, Elektrizitätslehre und dem Magnetismus bzw. auch aus den vorhergehenden Stunden vertraut. Darüber hinaus werden die klassischen Atommodelle (bzw. Kern-Hülle-Modelle) von Dalton und Rutherford als bekannt vorausgesetzt, und die Schüler können einen historischen Überblick über die Entwicklung der klassischen Atommodelle geben. Aus den vorangegangenen Unterrichtsstunden bringen die Schüler ihr bis dahin erworbenes Wissen über Radioaktivität und ionisierte Strahlung mit. Die Schüler kennen bereits die Ionisationskammer und den Geiger-Müller-Zähler als Nachweisgeräte für Radioaktivität. Auch der Rutherfordsche Streuversuch, der im Zusammenhang mit der genaueren Untersuchung der Atomhülle in einem Modellversuch (Luftkissentisch) durchgeführt worden ist, ist den Schülern präsent.

Grobziel:

Schüler sollen den α -Zerfall mit Hilfe einer einfachen Modellvorstellung vom Aufbau des Atomkerns beschreiben können

Feinziele:

Die Schüler sollen

- Eine neue Modellvorstellung zum Aufbau des Atomkerns kennen lernen
- die Grenzen des Modells kennen lernen
- wichtige Eigenschaften von α -Strahlen kennen lernen (Durchdringbarkeit, Reichweite, Ablenkung im Magnetfeld)
- von Kondensationsspuren in der Willsonschen Nebelkammer begeistert sein
- sollen am Beispiel des Uran-238-Kerns ($^{238}_{92}\text{U}$) eine α -Zerfallsreihe kennen lernen

Phase	Unterrichtsgegenstand	Medien
Motivation	Mit Hilfe einer Willsonschen Nebelkammer werden die Spuren von α -Teilchen sichtbar gemacht	Willsonsche Nebelkammer
Problemstellung	Erarbeitung der Eigenschaften von α -Strahlung mit Hilfe des Demonstrationsversuches (siehe Motivation)	
Problemerarbeitung I	Modell des Atomkerns	Computersimulationsprogramm
Problemerarbeitung II	Zerfallsgesetz des α -Zerfalls	Computersimulationsprogramm
Problemvertiefung	Zerfallsreihe des Uran-238-Kerns ($^{238}_{92}\text{U}$)	Computersimulationsprogramm
Hausaufgabe	Heraussuchen der α -Zerfälle bei gegebener Zerfallsreihe (Uran-238 bis Blei-206), Herausarbeitung der „Zerfallsgesetze“ der anderen auftretenden Zerfälle	Arbeitsblatt

Literatur:**Modelle:**

- Kircher/Girwidz/Häußler: Physikdidaktik, Kapitel 4.3
- Bleichroth/Dahncke/Jung/Kuhn/Merzyn/Weltner: Fachdidaktik Physik: Kapitel 2.1.7, S 81-83
- Mikelskis: Physik-Didaktik, Kapitel 4
- Johann Weninger, Helmut Brünger, Atommodelle im Naturwissenschaftlichen Unterricht, Bd.1: Bericht über eine IPN-Arbeitstagung

Unterricht:

- besonders: Natur Und Technik, Physik 10 (Realschule Hessen), Cornelsen
- Kuhn, Physik Bd.1, Westermann
- diverse Schulbücher der 10. Jahrgangsstufe