

Die Redaktion behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

## ■ Modelle eines Atoms

**Zu: „Planeten, Wolken oder schwarze Kisten?“ von F. Karsten, T. Koch, F. Kranzinger und M. Theis, November 2011, S. 39**

1) E. Fick, Einführung in die Grundlagen der Quantentheorie, S. 90f.

2) J. Strnad, Eur. J. Phys. 21, L33-L36 (2000)

3) F. Herrmann und G. Job, Der Karlsruher Physikkurs, Sek. I, Band 3

Auch in der Sekundarstufe I (SI) haben die Elektronenbahnen des Bohrschen korpuskularen Atommodells keinen Platz. Um aber das Wort Wahrscheinlichkeitsdichte für ein Elektron zu vermeiden, wird im angeführten Artikel das „Elektronium“ als Kontinuumsmodell vorgestellt. Schon aus fachlicher Sicht ist die Vorstellung eines stofflichen „Elektroniums“ widersprüchlich: Dessen kontinuierlich verteilte negative Ladungen müssten aufeinander Coulomb-Kräfte ausüben; die daraus berechnete Selbstenergie wurde aber beim H-Atom nicht gefunden. Eine damit aufgestellte, viel schwierigere Schrödinger-Gleichung<sup>1)</sup> liefert andere Orbitalbilder als in Abb. 2 angegeben.

Übertragen sich solche fachlichen Widersprüche auch auf die didaktische Sicht des Elektroniums in SI? Nach dem Physik-Bildungsplan für Baden-Württemberg sollen Teilchenmodelle durch angeblich bewährte Kontinuums-Modelle ersetzt werden. Dies wird hier auch auf atomare Dimensionen ausgedehnt; die Lernenden sollen nicht unreflektiert Farbe, Oberfläche und Bahnen makroskopischer Körper in den atomaren Bereich übertragen. Ist es aber nicht ein pädagogischer Glücksfall, wenn man im Unterricht falsche, aber unvermeidliche Präkonzepte der Lernenden thematisieren und mithilfe kognitiver Konflikte korrigieren kann, um die Grenzen von Modellen bei deren Vergleich aufzuzeigen? Ist dazu das Elektronium als Kontinuum geeignet, da man von ihm „Viel-fache einer elementaren Portion“ abführen kann, die sich „in Abwesenheit eines Kerns plötzlich auf einen Punkt zusammenzieht“? Warum wird bei dessen Verformung Energie frei – ähnlich wie beim Luftballon? In sich widersprüchlich erscheinen auch die folgenden Feststellungen:

■ Die Lernenden erreichen die „für einen kompetenten Umgang mit

Teilchenmodellen notwendige Abstraktionsebene“ erst am Ende von SI. Wieso ist es „daher notwendig“, am Ende von SI das Elektronium-Modell für Atome einzuführen, ein Teilchenmodell aber nicht?

■ Die Anschaulichkeit in der klassischen Physik gilt es für den Unterricht der Quanten- und Atomphysik zu hinterfragen: Wenn „tragfähige Modelle schon aus prinzipiellen Gründen unanschaulich sein müssen“. Andererseits wird bei der Einföhrung des Elektroniums argumentiert, dass das „Elektronium-Modell an die verbreitete Alltagsvorstellung eines kontinuierlichen Stoffes anknüpft und damit eine gewisse Anschaulichkeit der komplexen Quantenmechanik der Atome erreicht“.

Zweifelsohne muss man heute auch in SI auf Bohrs Elektronenbahnen verzichten. Rechtfertigt dies die Einführung des genauso mit Problemen behafteten Stoffes „Elektronium“? Soll man auch in der Atomphysik ganz auf Teilchenvorstellungen verzichten, sich mit Kontinuumsmodellen begnügen oder mit „schwarzen Kisten“?

**Franz Bader, Wolfgang Philipp und Wolfgang Salm**

Probleme kann man niemals mit derselben Denkweise lösen, durch die sie entstanden sind. Im Gegensatz zu diesem Zitat Einsteins bleiben die Bemühungen der Autoren zur Didaktik eines Atommodells in der den Schülern unterstellten Denkweise verhaftet. Seltsam geformte Marshmallows mit Gesicht und Schuhen öffnen kein noch so kleines Fenster, das Schüler in Sekundarstufe 1 oder 2 in der Denkweise weiter bringt. Wenn es nicht einer inhaltlichen Kapitulation gleich käme, wäre dem zweiten Didaktikmodell der Black Box der Vorzug zu geben, da es wahrhaftig ist. Dafür haben Schüler einen siebten Sinn. Ein Aspekt der quantenmechanischen Denkweise ist der Welle-Teilchen-Dualismus. Der ständige Wechsel zwischen dem Teilchen- und dem Wellenbild bei der Beschreibung des Aufbaus der Atome im Physikunterricht ist

weniger eine intellektuelle Überforderung der Schüler, als vielmehr didaktisch unreflektiert, weil immanent fehlerhaft! Eine haltbare Erklärung für das, was hinter Marshmallows verborgen bleibt, ist das Bild einer dreidimensionalen stehenden Welle, deren Form durch ein Kraftfeld bestimmt ist, und deren Interpretation von Born gegeben wurde. Die Fähigkeit der Schüler, in dieser Sache die klassische Denkweise des Teilchenbilds zu verlassen, sollte man nicht unterschätzen und schon gar nicht an Umfragen unter Schülern messen, die ja nur die Grenzen didaktischer Konzepte spiegeln. Nicht überschätzen darf man gemäß Feynman das Verständnis derer, die das gültige Atommodell vermitteln sollen, ob in Schule oder Universität. In jeder Institution gilt aber nur ein Modell, nämlich das aktuell gültige, momentan das der Quantenmechanik. In diesem Sinne wünsche ich mir nicht nur für meine eigenen Kinder mehr Mut bei der Einführung neuer Denkweisen als didaktisches Konzept im naturwissenschaftlichen Schulunterricht.

**Alkwin Slenczka**

Jetzt wissen wir es endlich: Das Elektron ist eine gasförmige Substanz namens „Elektronium“. Nicht aufgrund neuer Experimente, sondern weil der Karlsruher Physikkurs (KPK) die ganze Welt durch die Brille der Kontinuitätsgleichung sehen will. Nicht genug damit, dass der KPK mit seiner Vorstellung von einem „Feldstoff“ den Äther reanimiert oder das statistische Konzept der Entropie verstofflicht<sup>2)</sup>, wird dort auch noch das Elektron umgedeutet. Ein fein zermahlene Elektron, das Elektroniumgas, umgibt den Atomkern wie eine Atmosphäre, deren Dichte mit dem Abstand stark abnimmt. Was erklärt ein solches Modell, wenn der Schüler zunächst lernt, dass ein Gas aus Atomen besteht, in denen die Elektronen dann selbst wieder eine „gasartige Substanz“ sind? Ergibt das nicht eine unendlich verschachtelte Matroschka-Puppe? Dem KPK<sup>3)</sup> muss man daher den Vor-

**Dr. Franz Bader,** Ludwigsburg, **Dr. Wolfgang Philipp,** Tübingen, **Dr. Wolfgang Salm,** Freiburg

**Prof. Dr. Alkwin Slenczka,** U Regensburg

**Prof. Dr. Alexander Piel,** CAU Kiel

wurf machen, dass er dem Elektron seine Funktion als unteilbares Elementarteilchen raubt. Dem Photon gesteht der KPK seine Doppelnatur als Welle und Teilchen zu, warum verweigert er dann dem Elektron seine eigentliche Natur, nämlich auch Welle sein zu können?

Alexander Piel

### Erwiderung der Autoren

Zumindest in einer Hinsicht scheint es einen Konsens über Atommodelle zu geben: Alle Leserbriefe argumentieren jenseits der überholten korpuskularen Bahnmodelle, was im Mittelstufenunterricht leider noch nicht flächendeckend der Fall ist. Dabei äußern Herr Slenczka, Herr Bader et al. und Herr Piel in ihren Reaktionen Kritik an den beiden vorgestellten Atommodellen, machen jedoch keine Vorschläge, wie alternative altersgemäße Modelle aussehen können. Genau das würden wir uns aber wünschen.

Herr Slenczka kritisiert, dass wir uns mit den Denkweisen unserer Schüler auseinander setzen und diese als Startpunkt für das Erlernen eines altersgemäßen Atommodells sehen. Er argumentiert dabei ausschließlich anhand von Themen des Oberstufenunterrichts. Vielleicht liegt hier ein Missverständnis vor: Es geht in unserem Artikel um ein Modell für Kinder in der Mittelstufe und nicht für Physik-Abiturienten oder gar Studenten. Hier müssen wir besonders die in den Fokus nehmen, die später nicht Physik oder Chemie studieren und die bisher zum Teil bizarre, unreflektierte Atomvorstellungen aus der Schule mitgenommen haben. Im heutigen Oberstufen-Physikunterricht werden alle Forderungen von Herrn Slenczka erfüllt: Ausgehend von den Grundlagen der Quantenphysik und der Schrödinger-Gleichung wird hier eine quantenphysikalische Atomvorstellung entwickelt.

Der fachliche Einwand von Herrn Bader et al. gegen eine stoffliche Kontinuumsvorstellung beim Elektronium-Modell ist im Hinblick auf Selbstenergie und genauen

Verlauf der Dichteverteilungen berechtigt. Auch wir möchten kein unreflektiertes stoffliches Kontinuumsmodell für die Atomhülle propagieren und haben das Elektronium-Modell als eines von zwei denkbaren Modellen vorgestellt. Wir haben – wohl nicht deutlich genug – versucht zu betonen, dass im Unterricht Wesen und Grenzen von Modellen stets gründlich geklärt werden müssen. Das gilt ganz besonders für alle Atommodelle, also auch für das Elektronium-Modell. Selbstverständlich muss den Schülern klar werden, dass die Elektronenhülle nicht das gleiche ist wie eine auf atomare Dimensionen verkleinerte klassisch-stoffliche Wolke.

Bezüglich der Teilchenmodelle in der Sekundarstufe I scheint unser Text missverständlich zu sein beziehungsweise von manchen der Leserbriefautoren missverstanden zu werden. Wenn Atommodelle Thema des Unterrichts sind, reden wir natürlich auch von einem Teilchenmodell (eben vom Modell der atomaren Struktur der Materie). Es ist keineswegs unsere Absicht, das Teilchenmodell für Elektronen durch ein klassisch-stoffliches Kontinuumsmodell zu ersetzen. Sowohl beim Black-Box-Modell als auch beim Elektronium-Modell kann man Elektronen aus dem Atom herauslösen, da ergeben sich keine Unterschiede zu anderen Modellen. Hier zeigt sich der neuralgische Punkt bei Atommodellen in der Mittelstufe: Auf der einen Seite ist eine klassische Teilchenvorstellung für Elektronen innerhalb der Atomhülle irreführend und überholt. Andererseits steht das quantenphysikalische Modell noch nicht bereit, um das Elektron (in und außerhalb der Elektronenhülle) als Quantenobjekt zu beschreiben. Alle uns bekannten Alternativmodelle stoßen – wie gesehen – irgendwo an Grenzen. Deshalb bei korpuskularen Bahnmodellen zu bleiben, erscheint uns jedoch inhaltlich und didaktisch nicht zufriedenstellend.