

Zwei neue Unterrichtseinheiten des MINT-Lernzentrums zum Orbitalmodell und zur Quantenphysik

Juraj Lipscher, Herbert Rubin & Ralph Schumacher

MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

Ab Herbst 2014 bzw. Frühjahr 2015 werden am MINT-Lernzentrum der ETH Zürich Fortbildungen zu zwei neuen aufeinander aufbauenden Unterrichtseinheiten für den gymnasialen Chemie- und Physikunterricht angeboten. Die Unterrichtseinheit „Das Orbitalmodell und die moderne Quantentheorie“ wurde von Dr. Juraj Lipscher in Zusammenarbeit mit dem MINT-Team für den Chemieunterricht entwickelt. Die Unterrichtseinheit zur Quantenphysik: „Vom Doppelspalt zum Quantencomputer“, hat Herbert Rubin zusammen mit dem MINT-Team erstellt. Beide Unterrichtseinheiten sind sehr gut miteinander kombinierbar, weil in der Einheit zum Orbitalmodell viele Grundlagen vorbereitet werden, auf die in der Einheit zur Quantenphysik vertiefend Bezug genommen wird. Beide Unterrichtseinheiten wurden mit der Unterstützung und in Zusammenarbeit mit dem Nationalen Forschungsschwerpunkt **QSIT** (Quantum Science and Technology) entwickelt, an dem die ETH Zürich als leitende Institution beteiligt ist.

Das Orbitalmodell und die moderne Quantentheorie

Die Auswahl des „richtigen“ Atommodells für den gymnasialen Chemieunterricht ist ein intensiv diskutiertes Thema. Die einfacher verständlichen Atommodelle sind oft nicht korrekt und ermöglichen keine ursächliche Erklärung der nachfolgenden Unterrichtsinhalte wie zum Beispiel der Schalenstruktur der Elektronenhülle. Bei den abstrakteren und komplexeren Modellen befürchten hingegen viele Chemie-Lehrpersonen, dass sie die kognitiven Möglichkeiten unserer Schülerinnen und Schüler übersteigen könnten – insbesondere, weil es dazu bisher wenig ausgearbeitete Unterrichtsmaterialien auf gymnasialer Stufe gibt. Das MINT-Lernzentrum der ETH Zürich stellt daher ein erprobtes und auf neuesten Erkenntnissen der Lernforschung beruhendes Angebot vor, welches es ermöglicht, auf der Grundlage des Orbitalmodells ein gültiges Atommodell in stufengerechter Weise im Gymnasium zu unterrichten.

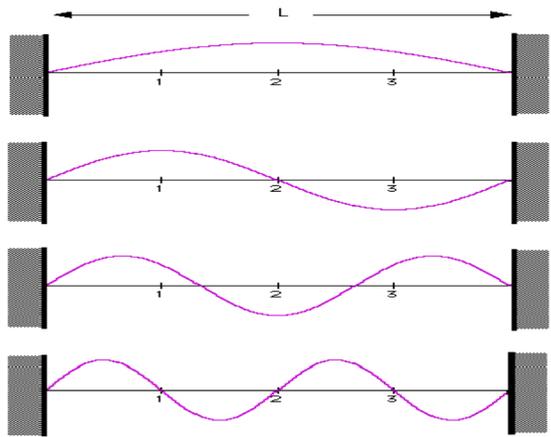
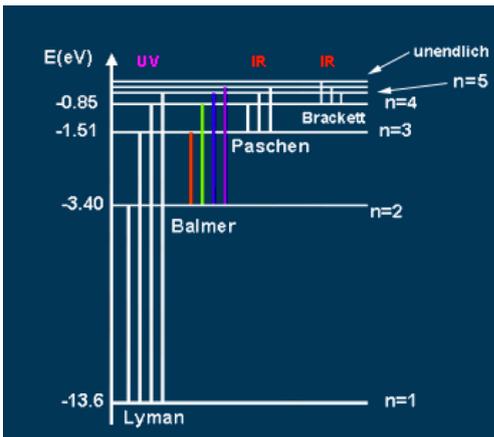
Diese Unterrichtseinheit bietet einen nicht mathematischen Zugang zu diesem faszinierenden, aber auch als abstrakt und anspruchsvoll geltendem Gebiet. Will man den Aufbau der Elektronenhülle, das Periodensystem der Elemente und nicht zuletzt chemische Bindungen im Grundlagenfach Chemie ursächlich erklären, so muss man dem Orbitalmodell Platz einräumen. Sorgfältige didaktische Bearbeitung, lernwirksame Unterrichtsmethoden, ausgesuchte und teilweise auch neu entwickelte Experimente machen es der Lehrperson möglich, diesen Lerninhalt stufengerecht und mit Erfolg zu behandeln.

Die Unterrichtseinheit wird in zwei verschiedenen Versionen angeboten: Eine einfachere Version für das Grundlagenfach Chemie (10. Schuljahr Gymnasium) sowie eine anspruchsvollere und erweiterte Version für das Schwerpunktfach Chemie / Biologie und für das Ergänzungsfach Chemie (12. bis 13. Schuljahr).

Die Grundlagenfachversion umfasst die folgenden Sequenzen: (1) Was ist Licht? Welle-Teilchen-Dualismus, (2) Schalenstruktur der Elektronenhülle, Bohr'sches Atommodell, (3) Unzulänglichkeiten des Bohr'schen Atommodells, Unschärfebeziehung, (4) Elektron als Welle, Welle-Teilchen-Dualismus, diskretes Verhalten stehender Wellen, (5) Orbitalbegriff, Born'sche Wahrscheinlich-

keitsinterpretation der Wellengleichung, (6) Besetzung der Orbitale mit Elektronen, Energieprinzip, Pauli-Prinzip, Hund'sche Regel, Elektronenkonfiguration der Elemente.

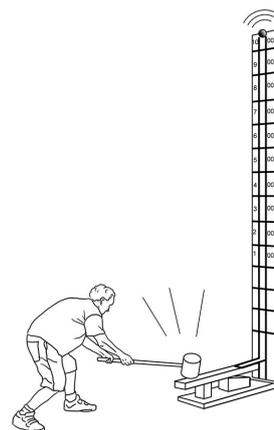
Die Schwerpunktfachversion enthält zusätzlich die folgenden Sequenzen: (7) Licht und Materie: Entstehung des Lichts, Flammenfarben, Emissionsspektroskopie, Leuchterscheinungen mit Anwendungen: Fluoreszenz, Phosphoreszenz, Chemilumineszenz und Biolumineszenz, (8) Philosophische Aussagen der Quantenmechanik: Doppelspaltversuch mit einzelnen Teilchen, Schrödinger'sche Katze, Natur der Wirklichkeit.

	
<p>Die diskreten Elektronenzustände in Atomen und Molekülen lassen sich erklären, wenn man Elektronen als Wellen auffasst.</p>	<p>Damit können sowohl die Struktur der Elektronenhülle als auch die Eigenschaften von Atomen ursächlich erklärt werden – wie beispielsweise die Absorption oder Emission von Licht.</p>

Vom Doppelspalt zum Quantencomputer

Das Ziel dieser Unterrichtseinheit besteht darin, den Schülerinnen und Schülern im Physikunterricht ausgewählte Konzepte der Quantenphysik so zu vermitteln, dass sie in der Lage sind, die Grundprinzipien von Quantencomputern bzw. der Quanteninformatik zu verstehen. Im Mittelpunkt der Unterrichtseinheit stehen neben ausgewählten Konzepten und Theorien der Quantenphysik auch Inhalte und Experimente, die im Rahmen von QSIT entwickelt wurden und den Lernenden einen Einblick in aktuelle Forschungen bieten. Die Unterrichtseinheit besteht aus vier Modulen mit jeweils drei Lektionen. Die Module befassen sich mit folgenden Inhalten und können in dieser Reihenfolge unterrichtet werden:

Modul 1: Die Eigenschaften des Lichts. In diesem geht es zunächst um die Frage, wie bereits bekannte Phänomene wie die Reflexion und die Brechung des Lichtes erklärt werden können. Dazu werden zwei konkurrierende Erklärungsmodelle, die Teilchenvorstellung von Newton und die Wellentheorie von Huygens diskutiert. Dabei zeigen Beugungs- und Interferenzphänomene sowie der Fotoelektrische Effekt die Problematik der beiden Erklärungsmodelle des Lichtes auf. Bei der Gestaltung von Aufträgen und Arbeitsblättern kommen besonders lernwirksame Unterrichtsmethoden zum Einsatz, um sicherzustellen, dass anspruchsvolle Inhalte wie der fotoelektrische Effekt und seine Bedeutung für die Theorie des Lichts von den Lernenden wirklich verstanden werden. Dazu wird dieser Effekt unter anderem mit einer „Hau den Lukas“-Analogie veranschaulicht (siehe die Abbildung rechts).



Das Modul 1 besteht aus drei Lektionen:

(1) Reflexion und Brechung; (2) Interferenzerscheinungen; (3) Fotoelektrischer Effekt.

Modul 2: Die Eigenschaften der Materie. In diesem Modul geht um die Frage, aufgrund von welchen Beobachtungen welche Rückschlüsse auf die Struktur der Atome gezogen werden können. Die Unterrichtseinstiege und Arbeitsaufträge sind daher so gestaltet, dass die Lernenden konstruierend mitvollziehen können, welche Experimente Aufschluss über welche Eigenschaften von Atomen geben. In Analogie zur klassischen Mechanik wird gezeigt, wie die quantenhafte Energieaufnahme und -abgabe der Atome durch ein Wellenmodell der Elektronen verständlich wird.

Das Modul 2 besteht aus den drei Lektionen:

(4) Atommodelle; (5) Spektrallinien; (6) Die Wellennatur der Materie

Modul 3: Die Eigenschaften von Quantenobjekten. Haben die beiden vorangehenden Module die Schwierigkeiten beleuchtet, zu denen die klassischen Teilchen- und Wellenvorstellungen bei der Beschreibung der atomaren Vorgänge führen, werden in diesem Modul neue Denkkonzepte vorgestellt, welche auch zu neuartigen Eigenschaften der Quantenobjekte führen, die in unserer Alltagserfahrung keine Entsprechungen finden. Dabei wird ersichtlich, wie mit der Einführung der Wellenfunktion einerseits Paradoxien wie sie z. B. beim Doppelspaltversuch bei der Interferenz mit Einzelphotonen auftreten, beseitigt werden können, dafür aber neue Eigenschaften wie Unbestimmtheit, Superposition und Verschränkung in Kauf genommen werden müssen. Hierbei werden besonders der statistische Charakter der Vorhersagen der Quantentheorie sowie der Messprozess (Dekohärenz) und das Messproblem vertieft diskutiert.

Zu den Materialien gehören ebenfalls Beschreibungen und Filme eines Doppelspalt-Vorführ-experiments von QSIT, das sich besonders gut eignet, um den Quantencharakter des Lichtes zu zeigen und die punktweise Entstehung des Interferenzmusters zu demonstrieren.

Das Modul 3 besteht aus den Lektionen:

(7) Unbestimmtheit; (8) Superposition; (9) Verschränkung

Modul 4: Quanteninformatik. Die Informationseinheit der klassischen Informatik, das Bit, wird hier zunächst der entsprechenden Einheit der Quanteninformatik, dem Qbit gegenüber gestellt. Damit lässt sich bereits eine erste einfache Anwendung eines Quantencomputers, eines *echten* Zufalls-generators, veranschaulichen und diskutieren. Mehrere Qbits bilden ein Quantenregister. Analog zur klassischen Informatik bedient man sich hier zur Beschreibung des Verhaltens von Quantenre-gistern Schaltkreisen bestehend aus Quantengattern sowie einer formalen Beschreibungssprache, der Dirac Notation. Besprochen werden grundlegende Operationen auf Qbits wie die Hadamard-Transformation und das CNOT-Gatter und die damit mögliche Verschränkung von Qbits. Damit wird es den Schülerinnen und Schülern grundsätzlich bereits möglich, aktuelle Aufsätze zu lesen und zu verstehen, was man z. B. unter Quantenteleportation versteht und wie das BB84-Protokoll der Quantenkryptografie arbeitet. Schliesslich wird auch auf die Realisierungsmöglichkeiten von Quantencomputern und den Stand der Technik eingegangen. Mit einfachsten Mitteln und einer An-leitung von QSIT können die Schülerinnen und Schüler selbst Graphen herstellen.

Dieses Modul besteht aus den Lektionen:

(10) Vom klassischen Bit zum Qbit; (11) Einfache Schaltkreise; (12) Kryptographie und Teleporta-tion

Die Module sind so gestaltet, dass die Unterrichtseinheit sowohl als Ganzes als auch in Teilen im Physikunterricht eingesetzt werden kann.

Weitere Informationen zum MINT-Lernzentrum sowie zu unseren Fortbildungen finden Sie auf unseren Webseiten:

<http://www.educ.ethz.ch/mint>

Auf diesen Webseiten finden Sie auch zu jeder Unterrichtseinheit exemplarische Arbeitsaufträge.