

Zwei neue Unterrichtseinheiten des MINT-Lernzentrums zum Orbitalmodell und zum Periodensystem der Elemente

*Roger Deuber, Juraj Lipscher & Ralph Schumacher
MINT-Lernzentrum der ETH Zürich*

Ab Herbst 2014 werden am MINT-Lernzentrum der ETH Zürich Fortbildungen zu zwei neuen und aufeinander aufbauenden Unterrichtseinheiten für den gymnasialen Chemieunterricht angeboten. Die Unterrichtseinheit „Das Orbitalmodell und die moderne Quantentheorie“ wurde von Dr. Juraj Lipscher in Zusammenarbeit mit dem MINT-Team entwickelt. Die Unterrichtseinheit „Das Periodensystem der Elemente“ hat Roger Deuber zusammen mit dem MINT-Team erstellt. Diese Unterrichtseinheit baut auf der ersten auf, weil die Ordnungsprinzipien des Periodensystems aus dem Orbitalmodell hergeleitet werden.

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, da es bisher wenig ausgearbeitete Unterrichtsmaterialien auf gymnasialer Stufe dazu gibt. Das MINT-Lernzentrum der ETH Zürich stellt daher eine erprobte und auf den neuesten Erkenntnissen der Lernforschung beruhende Möglichkeit vor, ein korrektes auf der Grundlage des Orbitalmodells beruhendes 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. Möchte man den Aufbau der Elektronenhülle, das Periodensystem der Elemente und nicht zuletzt die chemische Bindung 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 faszinierenden Lerninhalt stufengerecht und mit Erfolg zu behandeln.

Diese Unterrichtseinheit wird in zwei verschiedenen Versionen angeboten: Eine einfachere Version für das Grundlagenfach Chemie (10. Schuljahr Gymnasium) und eine etwas 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 Wahrscheinlichkeitsinterpretation der Wellengleichung, (6) Besetzung der Orbitale mit Elektronen, Energieprinzip, Pauli-Prinzip, Hund'sche Regel, Elektronenkonfiguration der Elemente.

Die Schwerpunktfachfachversion 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.

Diese Unterrichtseinheit wurde am MINT- Lernzentrum der ETH Zürich mit der Unterstützung und in Zusammenarbeit mit dem Nationalen Forschungsschwerpunkt **QSIT** (Quantum Science and Technology) entwickelt, an dem ETH Zürich als leitende Institution beteiligt ist.

<p>Betrachtet man Elektronen in Atomen als Wellen, weisen Sie ein diskretes Verhalten auf.</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>

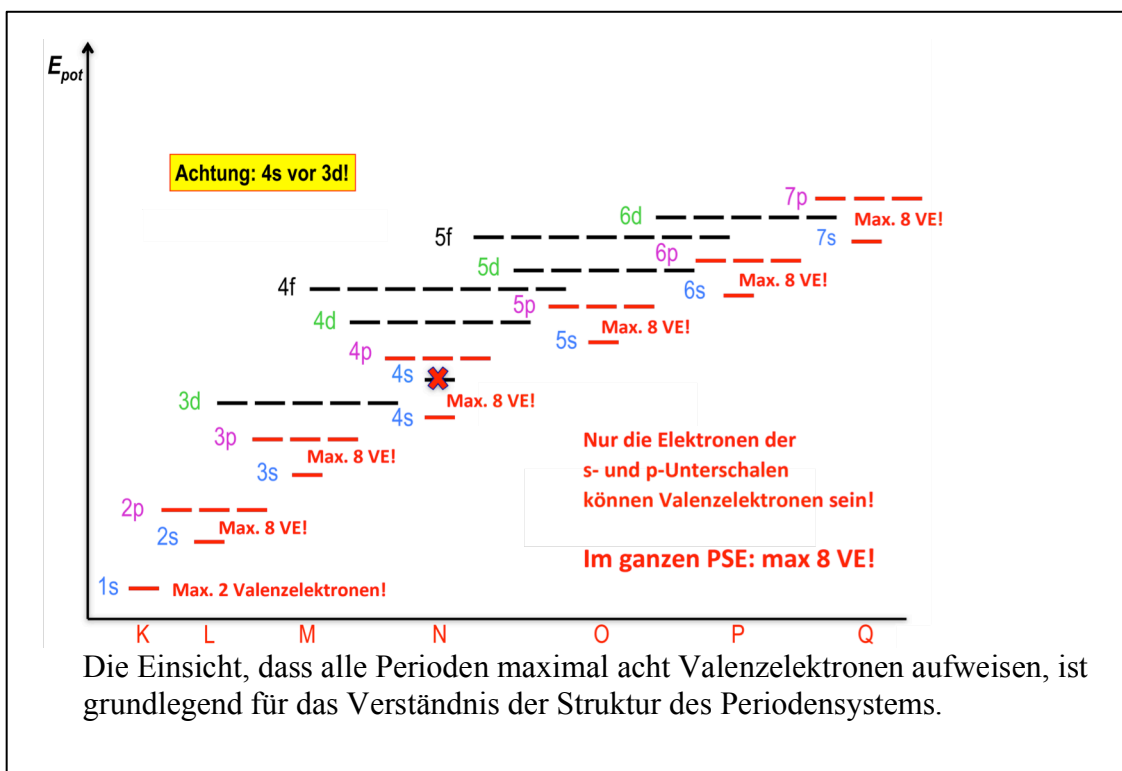
Das Periodensystem der Elemente auf der Basis des Coulombgesetzes und des Orbitalmodells

Das Periodensystem der Elemente ist der Schlüssel zum Verständnis der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Elementen und Verbindungen sowie deren Bindungsverhalten. Um dieses Verständnis zu erreichen, benötigen die Schülerinnen sicheres Vorwissen in den beiden folgenden Bereichen:

- Sie müssen den Aufbau der Elektronenhülle gut verstanden haben.
- Sie müssen das Coulombgesetz flexibel anwenden können.

Aufgrund der ersten Voraussetzung baut diese Unterrichtseinheit auf dem Orbitalmodell des Atoms auf und ist damit eine ideale Weiterführung der oben dargestellten Unterrichtseinheit, in der die Schülerinnen und Schüler detaillierte Kenntnisse über den Atomkern sowie über die Verteilung der Elektronen auf die Elektronenhülle erwerben. Um die zweite Voraussetzung zu erfüllen, enthält diese Unterrichtseinheit erprobtes Unterrichtsmaterial, mit dem die Lernenden das Coulombgesetz so gründlich verstehen sollen, dass sie sich damit komplexe Zusammenhänge im Periodensystem erklären können.

Diese Unterrichtseinheit besteht aus fünf Sequenzen. In der ersten Sequenz geht es um die Entstehung des Periodensystems. In diesem Zusammenhang sollen die Lernenden auch verstehen, wie es möglich war, ausgehend von falschen Annahmen ein weitgehend zutreffendes Ordnungssystem zu entwerfen. Die zweite Sequenz befasst sich mit der Struktur des Periodensystems und konzentriert sich darauf, wie die Struktur der Elektronenhülle die Eigenschaften der Elemente bestimmt. Die Schülerinnen und Schüler sollen in der Lage sein, die Zugehörigkeit von Elementen zu Perioden, Gruppen und Nebengruppen anhand der Struktur der Elektronenhülle zu erklären und zu verstehen, warum es in jeder Periode maximal acht Valenzelektronen gibt, obwohl die Schalen immer grösser werden und damit auch immer mehr Elektronen enthalten können.



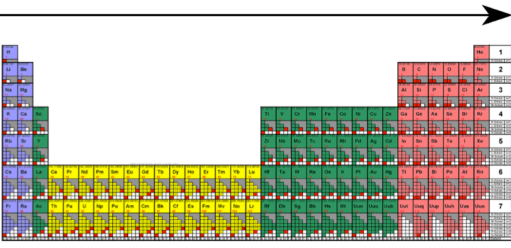
Die dritte Sequenz erklärt den Unterschied zwischen Metallen und Nichtmetallen unter Bezug auf die unterschiedlichen Anziehungskräfte zwischen Atomkern und Valenzelektronen und führt damit als Grundlage für das Bindungsverhalten der Elemente zu Sequenz vier, die einen Ausblick auf die Bindungslehre gibt. Die Schülerinnen und Schüler sollen verstehen, wie sich die drei Bindungstypen: Elektronenpaarbindung, Ionenbindung und Metallbindung, auf die Struktur der beteiligten Atome zurückführen lassen. Abschliessend geht es in der fünften Sequenz um den Vergleich des Orbitalmodells mit dem Bohr'schen Atommodell. Hier haben die Schülerinnen und Schüler die Aufgabe, die Vorteile herauszuarbeiten, die das Orbitalmodell gegenüber dem Bohr'schen Atommodell bei der Erklärung der Struktur des Periodensystems hat. Auf diese Weise soll ihr Wissen vom Periodensystem sowie vom Orbitalmodell vertieft und gefestigt werden.

Wie alle Unterrichtseinheiten des MINT-Lernzentrums enthält auch diese Unterrichtseinheit viele Aufträge, bei denen die Schülerinnen und Schüler mit kognitiv aktivierenden Lernformen dazu angeleitet werden, zentrale Konzepte wie beispielsweise das Coulombgesetz oder die Ordnungszahlen im Periodensystem konstruierend zu verstehen.

Innerhalb einer Periode von links nach rechts:

- Die Kernladungszahl nimmt zu, was zu einer Abnahme des Atomradius führt.
- Die Abschirmung ist konstant.

→ Die Anziehungskraft $k_{\text{Kern-VE}}$ nimmt innerhalb der Periode zu!



Innerhalb einer Gruppe von unten nach oben

- Die Kernladungszahl nimmt ab.
- Der Atomradius nimmt ab.
- Die Abschirmung nimmt ab.

→ Die Anziehungskraft $k_{\text{Kern-VE}}$ nimmt innerhalb einer Gruppe von unten nach oben zu!

Die Einsicht, dass alle Perioden maximal acht Valenzelektronen aufweisen, ist grundlegend für das Verständnis der Struktur des Periodensystems.

Eine detaillierte Analyse der Coulombkräfte zwischen Atomkern und Valenzelektronen schafft die Grundlage für ein tiefes Verständnis der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Elemente und deren Bindungsverhalten.

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.

Deux nouveaux modules de formation du centre MINT pour le modèle orbital et le tableau périodique des éléments

Roger Deuber, Juraj Lipscher & Ralph Schumacher

Centre MINT de l'ETHZ

(Traduction de Maurice Cosandey)

En automne 2014, le centre MINT (Mathématiques, Informatique, sciences Naturelles et Techniques) de l'École Polytechnique de Zürich (ETHZ) va présenter deux nouveaux modules d'enseignement. Le premier est consacré à l'introduction du modèle orbital au gymnase et le second, qui suit le premier, se rapporte au tableau périodique.

Premier module : modèle orbital de l'atome.

Ce module offre une approche non mathématique de la structure atomique vue selon la mécanique quantique. Il existe sous deux formes, l'une simplifiée au maximum, à l'intention des élèves de discipline fondamentale, et l'autre plus élaborée, à l'intention des élèves de l'option spécifique biologie-chimie.

La version la plus simple comprend les séquences suivantes : (1) Dualisme onde – particule du photon. (2) Modèle de Bohr. (3) Insuffisance du modèle de Bohr. (4) L'électron comme onde stationnaire, (5) Concept d'orbitale, et interprétation probabiliste de l'équation d'onde selon Born. (6) Remplissage des orbitales par les électrons. Principe de Pauli. Règle de Hund. Configuration électronique des éléments.

La version destinée à l'OS comprend les suppléments suivants : (7) Emission et absorption de lumière. Couleur de flamme. Fluorescence, phosphorescence, chemiluminescence et bioluminescence. (8) Aspects philosophiques de la mécanique quantique. Passage d'une particule unique à travers deux fentes à la fois. Chat de Schrödinger. Nature de la réalité.

Deuxième module : Construction de la table périodique.

Pour aborder ce module, les élèves doivent maîtriser la loi de Coulomb et le remplissage progressif des couches électroniques, établis par le module précédent.

Ce module est constitué des cinq séquences suivantes : (1) Construction logique d'un tableau périodique à partir de mauvaises hypothèses de départ. (2) Construction du tableau périodique à l'aide de la structure en couches électroniques. Justification des périodes, groupes et sous-groupes. Justification du maximum de 8 électrons sur la couche extérieure, même pour les atomes lourds. (3) Différences métal – non métal, dues à l'importance de la force de Coulomb entre le noyau et l'électron extérieur. (4) Liaisons ionique, covalente et métallique. (5) Retour sur le modèle de Bohr.

Le texte original en allemand contient une image en couleur illustrant un exemple de déduction logique pour le 2^{ème} module. On peut y voir que, à l'intérieur d'une même période, de gauche à droite, la charge du noyau augmente, ce qui fait augmenter la force d'attraction noyau – électron, donc diminuer le rayon atomique. Mais l'effet d'écran reste constant. A l'intérieur d'une même colonne, de bas en haut, la charge du noyau diminue, mais le rayon atomique diminue, car comme l'effet écran décroît, la force d'attraction noyau – électron croît.

Pour de plus amples informations, on consultera le site du centre MINT en allemand : <http://www.educ.ethz.ch/mint>.