

Neon ist ein Gas und hat zwei Ringe – Zur Trennung der makroskopischen und submikroskopischen Ebene des Periodensystems

Simone Abels,^{*[a]} Brigitte Koliander,^{*[b]} Thomas Plotz^{*[c]} und
Christine Heidinger^{*[c]}

Zusammenfassung: Es wird im Chemieunterricht nicht immer klar dargelegt, ob das besprochene Thema auf der makroskopischen oder auf der submikroskopischen Ebene abgehandelt wird. Auch in den eingesetzten Lernmaterialien, wie beispielsweise in den Versionen des Periodensystems der Elemente, die in Schulbüchern dargestellt sind, werden die Ebenen häufig miteinander vermischt. Dies kann für Schülerinnen und Schüler ein großes Lernhindernis darstellen. Der Artikel zeigt an einer Fallstudie die Lernschwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern bei der Verwendung eines solchen Periodensystems bei der Erarbeitung des Atombaus auf. Als ein möglicher Weg zur Vermeidung der dargelegten Verständnisschwierigkeiten wird die Verwendung von zwei Periodensystemen zur Diskussion gestellt, die die unterschiedlichen Betrachtungsebenen explizit trennen.

Stichworte: Periodensystem · Atombau · Schülervorstellungen · makroskopische und submikroskopische Ebene

Neon is a gas and has two rings – Separating the macroscopic and submicroscopic level of the periodic table

Abstract: Sometimes it is not made explicit to which level (macroscopic or submicroscopic) the topic being talked about during a chemical lesson should be assigned. Even in the learning materials used the levels are often mixed, for example in the periodic table of elements that are shown in textbooks. This can be a learning barrier for students. Illustrated by a case study some learning difficulties of students in learning the atomic structure with the help of such a periodic table of elements are shown. The use of two different periodic tables of elements is suggested to support the more explicit separation of the macroscopic and submicroscopic level.

Keywords: periodic table · atomic structure · students' conceptions · macroscopic and submicroscopic level

1. Einleitung

„... wenn sich ein Normalsterblicher das Periodensystem anschaut, der kennt sich einen Blödsinn aus. Warum schreibt der keine Erklärung dazu?“ (Schüler während eines Unterrichtsgesprächs über den Aufbau der Atome)

Schülerinnen und Schüler können, wie das obige Zitat illustriert, von der großen Menge an Informationen, die manche Darstellungen des Periodensystems anbieten, überfordert sein. Dieser Befund wird durch die Daten der vorliegenden Untersuchung gestützt. Besondere Verwirrung stiftet die Ver-

mischung von Daten auf der Stoffebene mit jenen auf der submikroskopischen Ebene.

Zunächst werden die Betrachtungs- und Erklärungsebenen im Chemieunterricht theoretisch dargestellt. Danach wird anhand von Daten aus einer Chemiestunde die Problematik der Verwendung eines üblichen Periodensystems der Elemente (PSE), wie es in vielen Lehrbüchern zu finden ist, aufgezeigt.

2. Betrachtungs- und Erklärungsebenen im Chemieunterricht

Die Chemie befasst sich mit dem Aufbau, den Eigenschaften und der Umwandlung von Stoffen. Sie beschreibt beobachtbare Phänomene auf Ebene der Stoffe (phänomenale Ebene: z.B. Eisen rostet) mit makroskopischen Konzepten (Beispiele für makroskopische Konzeptualisierungen: Reinstoffe – Elemente – Verbindungen, Stoffgemische – Lösungen etc.) und erklärt Eigenschaften und Reaktionen der Stoffe mithilfe von Vorgängen auf der Teilchenebene (Beispiele für submikroskopische Konzeptualisierungen: Moleküle, Atome, Ionen, Valenzelektronen, Orbitale) [1]. Für den Chemieunterricht hat Johnstone drei Betrachtungs- bzw. Erklärungsebenen eingeführt: die makroskopische Ebene, die submikroskopische Ebene und die Repräsentationsebene [2, Abb. 1].

Taber hat diesen Vorschlag ausdifferenziert [1, Abb. 2] und für den Unterricht adaptiert. Er geht von den Phänomenen der Chemie aus, die wir mit unseren Sinnen wahrnehmen und alltagssprachlich beschreiben können (z.B. Benzin explodiert). Diese Phänomene können auf einer makroskopischen Ebene mit theoretischen Konzepten beschrieben werden (Flammpunkt, Mischungsverhältnis), ohne die Teilchenebene einzube-

[a] S. Abels
Leuphana Universität Lüneburg,
Institut für Nachhaltige Chemie und Umweltchemie,
Universitätsallee 1,
21335 Lüneburg,
* E-Mail: simone.abels@leuphana.de

[b] B. Koliander
Pädagogische Hochschule Niederösterreich,
(Zentrum 1)
Dechant Pfeifer-Straße 3,
2020 Hollabrunn,
* E-Mail: brigitte.koliander@univie.ac.at

[c] T. Plotz, C. Heidinger
Universität Wien,
Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Physik
bzw. Biologie,
Porzellangasse 4/2,
1090 Wien
* E-Mail: thomas.plotz@univie.ac.at
christine.heidinger@univie.ac.at

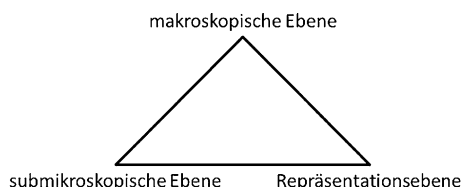


Abb. 1: Betrachtungs- und Erklärungsebenen im Chemieunterricht [2].

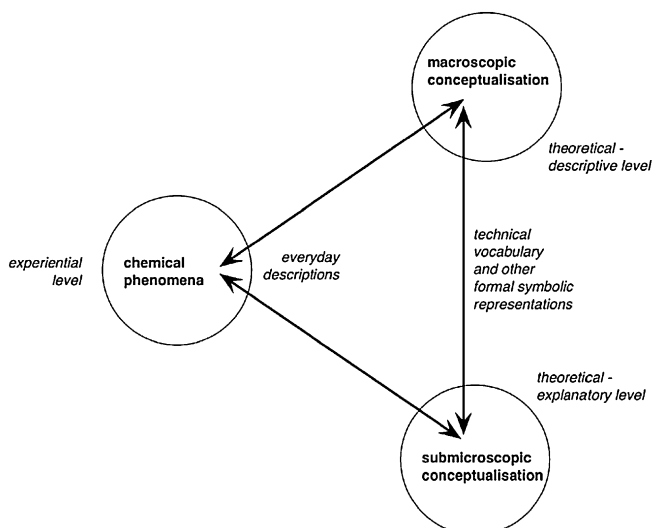


Abb. 2: Erklärungsebenen ausdifferenziert [1, S. 165].

ziehen. Sie können aber auch auf einer submikroskopischen Ebene theoretisch erklärt werden (Bindungsenergien in Molekülen, Atombindung, Oxidation als Abgabe von Elektronen). Während für eine erste Beschreibung auf der phänomenalen Ebene die Alltagssprache genügen kann, ist für die anderen beiden Ebenen die Fachsprache der Chemie mit ihren Begrifflichkeiten, Formeln und Symbolen notwendig. Die besondere Symbolsprache der Chemie stellt dabei ganz eigene Anforderungen an die Nutzerinnen und Nutzer [3].

Hier besteht eine der größten Herausforderungen des Chemieunterrichts: Schülerinnen und Schüler sollen Aufbau und Umwandlung von Stoffen auf der submikroskopischen Ebene beschreiben, darstellen und möglichst auch erklären können [4]. Dazu ist der Aufbau einer Fachsprache und das konzeptionelle Verständnis der wichtigen Begriffe (Stoff, Atom, Element, Energie [5]) Voraussetzung.

Ein Ziel vom Chemieunterricht ist, dass sich Schülerinnen und Schüler kompetent auf und zwischen den verschiedenen Betrachtungs- und Erklärungsebenen der Chemie hin und her bewegen können [2]. Wichtig ist dabei, dass die Lehrkraft den Schülerinnen und Schülern klar darlegt, welche Ebene – die Ebene der Phänomene, die Ebene der makroskopischen Konzepte oder die Ebene der Teilchen (s. Abb. 2) – gerade im Fokus steht. Die Explikation dieses Sachverhalts kommt im Chemieunterricht jedoch häufig zu kurz. So sind auch im Periodensystem, dem zentralen Werkzeug in der Chemie, Eigenschaften von Stoffen und von Atomen, also die makroskopische und die submikroskopische Ebene, in einer Tabelle gemeinsam repräsentiert. Das in allen Periodensystemen angegebene Elementsymbol kann auf beiden Ebenen genutzt werden [vgl. 6]. Erklärungsmächtig ist es als Repräsentation der Atome zur Beschreibung des Aufbaus von Stoffen und des Ablaufs von chemischen Reaktionen auf der submikroskopischen Ebene, aber es wird auch als Repräsentation für Stoffe auf der makroskopischen Ebene verwendet. Diese zweite Nut-

zung der chemischen Symbolsprache wird sichtbar, wenn von Chemikerinnen und Chemikern oder im Alltag von H_2O oder CO_2 gesprochen wird, auch wenn gar nicht auf den submikroskopischen Aufbau Bezug genommen wird und nur die stoffliche Ebene gemeint ist. H_2O und CO_2 fungieren dann als eine Art Abkürzung für die Bezeichnung der Stoffe.

Im Unterricht wird bei der Verwendung des Periodensystems sprachlich nicht immer explizit gemacht, auf welcher Ebene dieses gerade verwendet wird. Das wäre in einem Gespräch unter Experten und Expertinnen auch nicht notwendig, da diese sich scheinbar problemlos und ohne Missverständnisse auf und zwischen den Ebenen hin und her bewegen. Für Schülerinnen und Schüler macht es die meist unklare Kommunikation im Chemieunterricht, wie nachfolgend belegt wird, jedoch unmöglich zu erkennen, welche Ebene gerade gemeint ist. Welches Konzept möchte die Lehrperson aktivieren, wenn sie beispielsweise von „Neon“ spricht? Geht es um den Stoff



Simone Abels ist Professorin für Didaktik der Naturwissenschaften an der Leuphana Universität Lüneburg. Von 2011–2016 hat sie als Postdoc am Österreichischen Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie (AECC Chemie) der Universität Wien gearbeitet. Die Promotion erfolgte im Bereich Chemiedidaktik an der Universität Hamburg. Sie hat das erste und zweite Staatsexamen für Sonderschullehramt erworben. Ihre Arbeitsschwerpunkte sind inklusiver Fachunterricht, Umgang mit Diversität, Forschendes Lernen und reflexive Lehrer_innenbildung.



Brigitte Koliander ist seit September 2017 Professorin an der Pädagogischen Hochschule Niederösterreich für Didaktik in der Berufsbildung. Sie absolvierte ein Studium der Technischen Chemie (Abschluss 1983) und des Lehramts Chemie und Physik (Abschluss 1989). Von 1990–2017 war sie Lehrerin an einer berufsbildenden Schule für Chemie, Physik und Naturwissenschaften. Von 2008–2017 leistete sie Forschungsarbeit im Bereich der Fachdidaktik Chemie am AECC Chemie, Universität Wien, im Rahmen einer Mitverwendung.



Thomas Plotz unterrichtet seit acht Jahren Mathematik und Physik an einem Wiener Gymnasium. Er arbeitet seit 2013 am Austrian Educational Competence Centre for Physics Education (AECC Physik) der Universität Wien und hat 2017 seine Dissertation abgeschlossen. Im Fokus seiner Forschung stehen Schülervorstellungen zum Thema elektromagnetischer Strahlung.



Christine Heidinger ist Psychologin und seit 2009 Projektmitarbeiterin am Austrian Educational Competence Centre for Biology Education (AECC Biologie) der Universität Wien. Ausbildungsschwerpunkte in quantitativer und qualitativer Forschungsmethodik, Wissenschaftsphilosophie und Lerntheorien. Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkt in den Bereichen (Authentisches) Forschendes Lernen und Biologielernen an gesellschaftlich relevanten, kontroversen Themen mit Wissenschafts- und Technologiebezug.

Neon mit seinen sinnlich wahrnehmbaren Eigenschaften (eigentlich ein farb- und geruchsloses Gas, Schülerinnen und Schüler assoziieren im Alltag aber Neonlicht oder einen Neonstift) oder geht es um die Modellierung dieser Eigenschaften auf makroskopischer Ebene durch Konzepte wie Dichte oder Siedetemperatur etc. oder will die Lehrperson auf den Aufbau eines Neonatoms hinaus?

Die mehrdeutigen Formulierungen führen in hier dokumentierten Unterricht dazu, dass Schülerinnen und Schüler die Ebene der Stoffe mit der Ebene der Teilchen vermischen. Diese Vermischung, vor allem die Zuordnung von Stoffeigenschaften zu Atomen ist als Problem bekannt [7, S. 75 ff].

Im nächsten Kapitel werden am Beispiel einer Schulstunde zum Atombau die Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler bei der Verwendung des Periodensystems herausgearbeitet.

3. Die Vermischung der unterschiedlichen Ebenen – Auszüge aus einem Unterrichtsgespräch

Die Datenbasis für die Analyse war ein Unterrichtsgespräch über Atombau in der 8. Schulstufe einer integrativen Mittelschule in Österreich. In Österreich wird Chemie erst ab der 8. Schulstufe unterrichtet. Die Situation ist auf den Anfangsunterricht in Deutschland übertragbar. Das Ziel der analysierten Unterrichtsphase ist die Wiederholung des Atombaus. Die Schülerinnen und Schüler zeichnen mit Hilfe des Periodensystems Schalenmodelle nach Bohr und besprechen anschließend im Plenum den Aufbau einzelner Atome. Ihnen steht das PSE aus dem Schulbuch „Faszination Chemie 4“ für die Unterstufe von Vormayr zur Verfügung, das die in Abbildung 3 dargestellten Informationen anbietet. Manche dieser Informationen beziehen sich auf die makroskopische Ebene (Schmelz- und Siedetemperatur, Aggregatzustand), andere Angaben sind nur durch zusätzliche Erklärungen auf der submikroskopischen Ebene zu verstehen (Ordnungszahl, relative Atommasse, Elektronegativität, Oxidationszahl).

Ordnungszahl	1	1,0079	Relative Atommasse (g/mol)
Elementsymbol	H	-259,14	Schmelzpunkt (°C)
deutscher Name	Wasserstoff	-252,87	Siedepunkt (°C)
		2,2	Elektronegativität (Pauling)
		-1,1	Oxidationszahl
*Radioaktives Element			
**künstliches Element			
			fest flüssig gasförmig

Abb. 3: Vergleichbare Legende zum verwendeten PSE [8].

Die Schwierigkeiten der Schülerinnen und Schüler, aus dem PSE die relevanten Informationen für fachliche Erklärungen heranzuziehen, zeigen sich in der ausgewählten Unterrichtsstunde mehrfach. Die Probleme sind sicherlich auch durch die Mehrdeutigkeit des Elementbegriffs bedingt, der einerseits auf der stofflichen Ebene (Kontinuum), andererseits auf der atomaren Ebene (Diskontinuum) verstanden werden kann [6].

Der folgende Ausschnitt verdeutlicht, dass ein Schüler (SCHÜLER 3) trotz des Bezugs zum Periodensystem auf der phänomenalen Ebene denkt, also Alltagsbezüge herstellt, wohingegen ein anderer Schüler (SCHÜLER 2) trotz einer mehrdeutigen Aufforderung der Lehrperson zu wissen scheint, worauf diese abzielt (Tab. 1).

Tab. 1: Auszug aus einem Unterrichtsgespräch zum PSE.

Transkript	Ebene
L: Schaut euch einmal das Neon an ...	mehrdeutig
SCHÜLER 2: Wo ist das Neon?	mehrdeutig
L: Neon	mehrdeutig
SCHÜLER 2: Ah// da zehn.	submikroskopisch
L: //ein Edelgas	makroskopisch
SCHÜLER 2: zehn	submikroskopisch
SCHÜLER 2: zehn	submikroskopisch
SCHÜLER 3: zehn	submikroskopisch
SCHÜLER 3: Neon ist ein Gas?	phänomenal
SCHÜLER 2: das hat äh //	–
SCHÜLER 3://Das ist auch eine Farbe?	phänomenal
SCHÜLER 2: //Das hat zwei Ringe.	submikroskopisch

Ein anderes Beispiel aus der Stunde verdeutlicht, dass trotz des Kontextes Schalenmodell in diesem Fall irrelevante Informationen aus dem PSE zur Lösung der Aufgabe herangezogen werden (Äußerung von SCHÜLER 5 in Tab. 2). Im darauf folgenden Einwand von SCHÜLER 2 zeigt sich, dass der Schüler Wasserstoff mit Wasser verwechselt und überdies Wasser im PSE dann entlang seiner makroskopischen Eigenschaften sucht. In dieser Logik des Schülers sollte das Wasser (und somit der Wasserstoff) bei den Flüssigkeiten zu finden sein. Diese Aussage enthüllt somit auch eine Annahme des Schülers über die Ordnungslogik des PSE, welche für ihn mit den Aggregatzuständen zusammenhängt.

Tab. 2: Auszug aus einem Unterrichtsgespräch zum PSE

Transkript	Ebene
L: Sucht's einmal in eurer Tabelle [im PSE, Anm. d. Verf.] den Wasserstoff	makroskopisch oder submikroskopisch
SCHÜLER 5: Wasserstoff eins komma null eins (unv.)	submikroskopisch
L: Was kann ich denn da rauslesen aus dem Periodensystem? (...)	makroskopisch oder submikroskopisch
SCHÜLER 5: Dass der Siede- und der Schmelzpunkt ganz knapp aneinander liegt	makroskopisch
L: Okay	–
SCHÜLER 2: Ich finde den Wasserstoff nicht. Ah da ganz oben. Aber wieso ist das nicht mehr da. Wieso ist das nicht mehr da, nicht bei den Flüssigkeiten.	makroskopisch

In einer weiteren Sequenz wird die Farbe der Schrift als mögliche Hilfe zur Lösung der Aufgabe in Betracht gezogen (Tab. 3). Im verwendeten Periodensystem zeigen besondere Schriftfarben an, ob es sich um flüssige, künstliche oder radioaktive Elemente handelt.

Die Schwierigkeit liegt insgesamt darin zu erkennen, welche der vielen Informationen für welchen Sachverhalt relevant ist. Die offenen Frage- bzw. Aufgabenstellungen der Lehrerin (z. B. Tab. 2 erste Zeile) zwingen die Schülerinnen und Schüler

Tab. 3: Auszug aus einem Unterrichtsgespräch zum PSE

Transkript	Ebene
L: Aber mir geht es darum, ich möchte wissen, wie viele Protonen und wie viele Neutronen, woran erkenne ich wie viele Protonen und Neutronen ein Kern hat?	submikroskopisch
SCHÜLER 2: Hat das auch was damit zu tun mit der Farbe der Schrift?	Bezug zu makroskopischen Informationen

aus den angebotenen Informationen des PSE auszuwählen. Diese Auswahlproblematik, verbunden mit der nicht mehr erinnerten Ordnungssystematik, führt bei der erneuten Erarbeitung mit Hilfe des PSE zu Schwierigkeiten und verwandelt das Hilfsmittel PSE eher in ein Lernhindernis.

4. Ein neuer Zugang zur Arbeit mit dem Periodensystem im Unterricht ist gefragt!

Das PSE ist ein extrem kondensiertes Hilfsmittel für Chemiker und Chemikerinnen. In diesem Hilfsmittel wird versucht eine Vielzahl an Informationen zu vereinen und daher jede erdenkliche Variationsmöglichkeit genutzt, um verschiedene Informationen darzustellen. Dies führt zu Legenden bei Periodensystemen, die hoch komplex sind. In Anbetracht der Zielgruppe „Chemikerinnen und Chemiker“ ist diese hohe Komplexität durchaus sinnvoll. Ein typisches Beispiel dafür zeigt Abbildung 4. Alle Möglichkeiten scheinen in dieser Darstellung ausgereizt, sogar die Hintergrundfarbe, die Farbe des Symbols und die Schraffierung des Hintergrunds. Es finden sich Informationen in der Darstellung, die der makroskopischen und/oder der submikroskopischen Ebene zugeordnet werden können.

Makroskopische Beschreibungen: Aggregatzustand, Schmelz- und Siedetemperatur, Dichte, Radioaktivität, natürliches/künstliches Element, Metall/Nichtmetall/Halbmethall, Halbwertszeit

Submikroskopische Beschreibungen: Ordnungszahl (Anzahl der Protonen), Elektronenkonfiguration, Elektronegativität, Atomradius, Ionenradius, Oxidationszahlen, Massenzahlen von Nukliden, Ionisierungsenergie

Verbindende Angaben: Name, Symbol, relative Atommasse

Wie die dargelegten Ausschnitte aus dem Unterrichtsgespräch über den Atombau zeigen, ist das Periodensystem allerdings für Schülerinnen und Schüler kein einfach zu handhabendes Material. In den üblichen Darstellungen werden für den Anfangsunterricht zu viele Informationen bereitgestellt und die unterschiedlichen Betrachtungs- bzw. Erklärungsebenen [1, 2], auf denen chemische Vorgänge und chemische Entitäten beschrieben werden können, miteinander vermischt.

Ein PSE für die Sekundarstufe 1 könnte anders aufgebaut sein als bisher üblich. Dieses erste Periodensystem könnte **entweder** Eigenschaften von elementaren Stoffen aufgreifen (Kontinuum) **oder** Eigenschaften von chemischen Elementen im Sinne von Atomsorten (Diskontinuum) [vgl. 6]. Wenn man

von den Eigenschaften elementarer Stoffe spricht und Alltagsbezüge herstellen möchte oder einzelne Stoffgruppen herausheben möchte (Metalle – Nichtmetalle), kann ein Periodensystem, in dem nur Stoffeigenschaften aufgeführt oder dargestellt sind, eine sinnvolle Hilfe sein.

Wird allerdings der Aufbau der Atome besprochen, so sollten ausschließlich Informationen der submikroskopischen Ebene enthalten sein. Eine Vereinigung der beiden sollte nicht sofort dargestellt werden und die Vermeidung eines parallelen Einsatzes scheint notwendig. Um den Schülerinnen und Schülern in der Sekundarstufe 1 im Anfangsunterricht Chemie den Einstieg in das Arbeiten mit dem Periodensystem zu erleichtern, sollten auch nur jene Informationen in einem ersten submikroskopischen Periodensystem angegeben werden, die für die Erarbeitung wichtiger Grundlagen notwendig sind. Dazu gehören sicher die Ordnungszahl sowie die übliche Darstellung in Perioden und Gruppen, da allein aus diesen wenigen Informationen viel über den Atombau ausgesagt werden kann.

Für die makroskopische Ebene der elementaren Stoffe kann für die Sekundarstufe 1 eine kurze Beschreibung des Stoffes mit Farbe und Aggregatzustand bei Normalbedingungen (20 °C, 1013,25 hPa) sowie der Elementname angegeben werden. Bei Elementen, die mehrere sehr unterschiedliche Modifikationen besitzen, können mehrere dieser Modifikationen beschrieben werden (Tab. 4). Von Bildern im PSE, insbesondere von bildlichen Gegenstandsdarstellungen wie Neonröhren oder Eisennägeln, würden wir gänzlich abraten. Man bewegt sich damit nicht auf einer Stoffebene, sondern stellt Gegenstände dar, die oft sogar aus mehreren Stoffen bestehen, und weckt möglicherweise irreführende Assoziationen („Neon ist doch eine Farbe“, Zitat von SCHÜLER 3).

Zur Erarbeitung des Atombaus wäre allerdings die Variante mit Informationen (Ordnungszahl, eventuell Massenzahl) zur submikroskopischen Ebene ausreichend (Tab. 5). Die angegebenen Zahlen sind leicht begreifbar: die Ordnungszahl als Anzahl der Protonen und Elektronen, und eventuell die Massenzahl des häufigsten Nuklids (oder auch jene der beiden häufigsten Nuklide) als Summe aus Protonen und Neutronen.

Tab. 5: Beispiele für die Darstellung der chemischen Elemente (Atomsorten) auf der submikroskopischen Ebene

O 8	Mg 12	P 15	U 92
16	24	31	238
Sauerstoffatom	Magnesiumatom	Phosphoratom	Uranatom

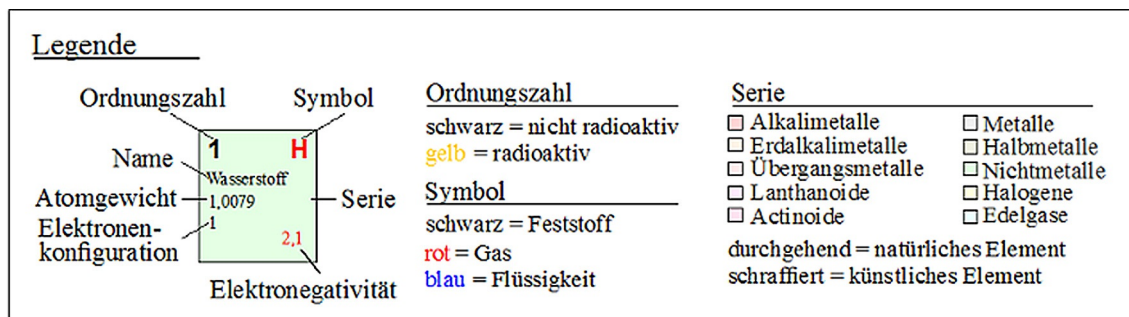


Abb. 4: Legende eines Periodensystems [9].

Tab. 4: Beispiele für die Darstellung einiger chemischer Elemente (elementarer Stoffe) auf der makroskopischen Ebene

Sauerstoff	Magnesium	Phosphor	Uran
farbloses Gas, Nichtmetall	silberweiß glänzender Feststoff, Metall	weißer, giftiger Feststoff, Nichtmetall; roter Feststoff, Nichtmetall; schwarzer Feststoff, Nichtmetall	radioaktiver, silberweiß glänzender Feststoff, Metall

5. Wie können die beiden Darstellungsformen im Unterricht eingesetzt werden?

Ein PSE der elementaren Stoffe kann die Vielfalt der chemischen Elemente aufzeigen. Es ist aber unumgänglich, dass dabei angesprochen wird, dass die Eigenschaften, die die elementaren Stoffe auf der makroskopischen Ebene kennzeichnen, die gleichen Eigenschaftskategorien sind, mit denen auch Verbindungen beschrieben werden. Die Auswahl der makroskopischen Eigenschaften der Elemente unterscheidet sich nicht von der Beschreibung von Verbindungen und erklärt nicht die besondere Aufnahme in das PSE. Daher ist auch die Verwechslung von Wasser und Wasserstoff durch Schüler verständlich. Die Eigenschaften auf der makroskopischen Ebene erklären weder die Auswahl der Elemente im Periodensystem noch deren Anordnung und Reihenfolge. Dies ist insofern interessant, da die Frage danach eröffnet werden kann, was nun eigentlich das Ordnungskriterium im Periodensystem ist.

Das Periodensystem auf der submikroskopischen Ebene kann für die erste Erarbeitung des Atombaus als Informationsquelle und Ordnungssystem eingesetzt werden. Die Nennung der Ordnungszahl und der Massenzahl der häufigsten Isotope und die übliche Anordnung der Elemente im Periodensystem (Perioden, Gruppen) kann genutzt werden, um die Schülerinnen und Schüler zu lehren, einfache Schalenmodelle von Atomen aus Protonen, Neutronen und Elektronen zu skizzieren und dabei aus dem Periodensystem die notwendigen Daten zu entnehmen. Mehrdeutige Bezeichnung wie das Elementsymbol können daraufhin explizit reflektiert werden.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Betrachtet man die Bildungsstandards für die Sekundarstufe 1 in Deutschland wie in Österreich, so findet sich in beiden das Periodensystem als wichtiges Hilfsmittel für die Erklärung von Ordnungsprinzipien und Bindungsmodellen sowie Deutung von Stoffeigenschaften auf der submikroskopischen Ebene. Daher scheint es uns unerlässlich, dass Schülerinnen und Schüler das Periodensystem vor allem auf submikroskopischer Ebene verstehen und verwenden können. Das makroskopische Periodensystem scheint uns von untergeordneter

Bedeutung, muss nicht zwingend im Unterricht eingesetzt werden, ermöglicht aber für Lehrpersonen und Lernende den expliziten Blick auf die beiden Ebenen. Der Einsatz dieser zwei getrennten Periodensysteme muss in weiteren Unterrichtseinheiten empirisch überprüft werden.

Die vorgeschlagene Trennung der Ebenen im PSE macht jedes Mal auch den Lehrpersonen wieder bewusst, dass die Chemie auf beiden Ebenen, auf der Ebene der Stoffe und auf der Ebene der Teilchen Aspekte und Vorgänge benennt, beschreibt und erklärt und dass diese beiden Ebenen in der Chemie verbunden werden, um ein tiefgehendes Verständnis von Stoffen, ihren Eigenschaften und ihren Reaktionen zu ermöglichen.

Literatur

- [1] Taber, K. S. (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chem. Educ. Res. Pract.* **14**, S. 156–168.
- [2] Johnstone, A. H. (2000). Teaching of chemistry – logical or psychological? *Chemistry Education: Research and Practice in Europe* **1** (1), S. 9–15.
- [3] Parchmann, I., Bernholt, S. (2013). In, mit und über Chemie kommunizieren: Chancen und Herausforderungen von Kommunikationsprozessen im Chemieunterricht. in M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann, & H. J. Vollmer (Hrsg.), *Sprache im Fach: Sprachlichkeit und fachliches Lernen*. Waxmann, Münster, 241–253.
- [4] Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.) (2013). Kerncurriculum für die Oberschule Schuljahrgänge 5–10. Naturwissenschaften. Hannover.
- [5] Rehm, M., Stäudel, L. (2012). Grundbegriffe und Basiskonzepte der Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **23** (128), S. 2–7.
- [6] Rehm, M., Sieve, B. (2012). Der Elementbegriff als Teekesselchen. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* **23** (128), S. 24–27.
- [7] Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik: Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer, Heidelberg.
- [8] www.chempage.de/download/pse.jpg (letzter Zugriff am 13.12.2016).
- [9] revolutionarts.de/blog/tag/pse/ (letzter Zugriff am 13.12.2016).

Eingegangen am 7. März 2017

Angenommen am 23. Mai 2018

Online veröffentlicht am 22. August 2018