

Zusammenfassung

chem:LEVEL

Abbildung 1 Projektlogo chem:LEVEL

Das Projekt chem:LEVEL beabsichtigt einen transparenten und konsequenten Einsatz des Johnstone-Dreiecks im Chemieunterricht.

Johnstone, ein englischer Chemiedidaktiker, formulierte Anfang der 1980er Jahre die Theorie, dass die Welt der Chemie in drei Ebenen eingeteilt werden kann:

I believe that it exists in three forms which can be thought of as corners of a triangle. No one form is superior to another, but each one complements the other. These forms of the subject are (a) the macro and tangible: what can be seen, touched and smelt; (b) the submicro: atoms, molecules, ions and structures; and (c) the representational: symbols, formulae, equations, molarity, mathematical manipulation and graphs. (Johnstone A. , 2000, S.11)

Er nimmt an, dass das chemische Wissen auf diesen drei Ebenen dargestellt werden kann:

(1) Die makroskopische Ebene zur Beschreibung aller sichtbaren und wahrnehmbaren Phänomene – auch durch Messinstrumente -, (2) die submikroskopische Ebene zur Erklärung von Reaktionsprozessen in einem nicht-sichtbaren Bereich auf Ebene der Atome, Ionen und Moleküle und (3) die Symbol-Ebene, die durch die Formulierung von Berechnungen und Reaktionsgleichungen die Erkenntnisse zusammenfassen oder Annahmen äußern kann.

Johnstone beschreibt, dass diese Ebenen in allen naturwissenschaftlichen Fächern Gültigkeit haben (1982), doch diese dreigliedrige Differenzierung hat sich ausschließlich als Konsens der chemiedidaktischen Forschung gefestigt.

Johnstone formuliert seine Theorie weiter aus:

First of all, the simultaneous introduction of all three aspects is a sure recipe for overloading working space. Experienced chemists can manipulate all three, but this is not so for the learner. [...] Secondly, when the learner tries to store this triple layer sandwich of information, it is unlikely that he is going to find useful or usable points of attachment in Long Term Memory and so there is an attempt to 'bend' or 'manipulate' the information into a more tangible form and yet another alternative framework is born! (Johnstone, 2000, S. 11).

Johnstone (2000) warnt davor, Lernenden die Ebenen gleichzeitig anzubieten. Es drohen eine kognitive Überbelastung und die Bildung fachlich nicht-anerkannter Konzepte. Er fordert damit indirekt eine differenzierte Darstellung der Ebenen im Chemielernprozess.

Diese Annahme wird als Grundlage des Projektes chem:LEVEL verstanden. Ziel ist die Entwicklung von Lernmaterialien für den Chemieunterricht, die eine transparente Trennung der Ebenen umsetzen und die Bildung fachlich-anerkannter Konzepte fördern.

In den Naturwissenschaften wird Lernen als ein konstruktivistisches Verständnis von Lernprozessen verstanden. Es ist Konsens, dass die Lernprozesse immer an die

Erfahrungen und Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern anknüpfen müssen (Duit, 1995) (Marohn, 2008).

(1) Lernen muss subjektiv konstruiert werden (Reich, 2008) und (2) Lernen findet durch eigene Erfahrungen statt (Wirth, 2009). Diese beiden Aussagen fassen elementare Bestandteile der konstruktivistischen Lerntheorien zusammen. Lernen findet subjektiv statt und es kann nur eigenständig über Erfahrungen erfolgen.

Im Lernprozess können Schülerinnen und Schüler folglich nur unterstützt werden, ihr eigenes Wissen zu konstruieren.

Auf der Basis von Johnstones Theorie, dass eine gleichzeitige Verwendung aller Ebenen zu einer kognitiven Überbelastung führen können, werden die Grundlagen der *cognitive load theory* nach Sweller (1988, 2010) betrachtet, um die kognitiven Belastungsmöglichkeiten erfahren zu können.

Es wird aus der Theorie entnommen, dass das Arbeitsgedächtnis eine begrenzte Kapazität besitzt und drei Belastungsarten die kognitive Leistung des Arbeitsgedächtnis beeinflussen. (1) Die intrinsische Belastung, (2) die extrinsische Belastung und (3) die intendierte Belastung. Die intrinsische und extrinsische Belastung können durch das Lernmaterial gesteuert werden. Der Gehalt an Informationen und die Darbietungen dieser Informationen können im Lernmaterial beeinflusst werden. Unter dieser Berücksichtigung und auf Basis der *cognitive theory of multimedia learning* nach (Mayer R. , 2014) werden Gestaltungskriterien für Lernmaterialien abgeleitet.

Diese Gestaltungskriterien werden für die Entwicklung einer Lernumgebung zum inhaltlichen Thema Galvanische Zellen für die Sekundarstufe 1 genutzt.

Das Forschungsprojekt ist an den Design-Based-Research-Ansatz (DBR) angelehnt. Dieser greift eine Problematik auf und fokussiert in einer Design-Experiment-Phase insbesondere die Weiterentwicklung einer Intervention. Die Weiterentwicklung soll immer unter dem Fokus betrachtet werden: ‚what works?‘ und ‚how does it work?‘ (McKenney & Reeves, 2012).

In einem vierschrittigen Forschungszyklus werden zunächst Erstsemesterstudierende befragt, in welcher Weise sie das Johnstone Dreieck und die Differenzierung in Ebenen aus ihrer schulischen Ausbildung kennen.

Die qualitative Auswertung zeigt, dass den Studierenden die Ebenendifferenzierung nicht bewusst ist. Die qualitative Auswertung von gestellten Aufgaben lassen Vorstellungen erkennen, die von fachlich-anerkannten Konzepten abweichen. Es wird deutlich, dass insbesondere über die verschiedenen Repräsentationsmöglichkeiten von Sprache die Vermischung von Ebenen erkennbar werden und die Differenzierung der Ebenen ermöglicht werden kann.

In der Gestaltung von Lernmaterialien wird deshalb die genutzte Sprache ein zentrales Bindeglied zwischen den Informationen der Lernmaterialien und den Lernprozessen der

Schülerinnen und Schüler. Insbesondere die Trennung der Ebenen erfordert einen sehr bewussten Umgang mit Sprache (Barke, Harsch, Kröger & Marohn, 2018).

Aus diesem Grund werden ebenfalls Grundlagen des sprachsensiblen Fachunterrichts zur Entwicklung der Lernumgebung betrachtet. Lernen gelingt über die Sprache; der bewusste Einsatz von Sprache soll die Ebenen-spezifischen Formulierungen für die Lernenden erleichtern. Dazu werden verschiedene Methodenwerkzeuge und Repräsentationsebenen von Sprache nach Leisen (2013) eingesetzt.

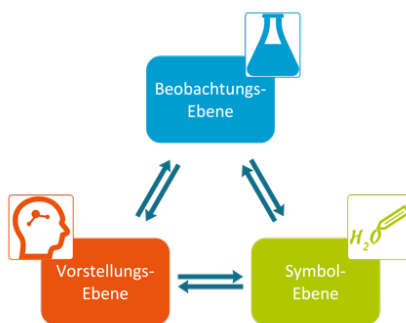


Abbildung 2 Darstellung des Johnstone-Dreiecks für den Chemieunterricht

Die entwickelte, digitale Lernumgebung stellt die Ebenen des Johnstone-Dreiecks transparent dar. Es wird neben der Differenzierung der Ebenen auch eine Differenzierung innerhalb der Ebenen durchgeführt. Dafür wurde eine eigene Differenzierungsmatrix entwickelt, die sich in der Unterscheidung der kognitiven Komplexität an die Anforderungsbereiche des Kernlehrplans Chemie für Gesamtschulen in Nordrhein-Westfalen (2013) richtet. Im Rahmen der inhaltlichen Komplexität wird in den Ebenen nach Johnstone differenziert.

Die Lernumgebung wird durch den Besuch einer Gesamtschulklasse im Chemiedidaktik Institut erprobt (n = 24). Die Corona-Pandemie führte leider dazu, dass keine weitere Erprobung in die Auswertung der Lernumgebung einfließen konnte.

Die erhobenen Daten werden qualitativ und differenziert ausgewertet.

Nach der Erprobung zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler die drei Ebenen benennen und beschreiben können. Vielmehr ist zu beobachten, dass sich bei einigen Teilnehmenden konzeptuelle Veränderungen andeuten lassen. Daraus lassen sich für den Erfolg der Lernumgebung folgende Annahmen ableiten:

- (1) Die Lernumgebung fördert die Bildung von fachlich anerkannten Vorstellungen.
- (2) Die Lernumgebung fördert eine fachsprachlich-korrekte Kommunikation.
- (3) Die Lernumgebung fördert kollaborierende und kooperierende Arbeitsweisen.

In der differenzierten Auswertung wird einzeln dargestellt, in welchen Situationen diese Lernprozesse zu beobachten sind, durch die die Annahmen begründet werden.

1. Theoretische Grundlagen

Im Fokus dieser Arbeit steht die Entwicklung und Erprobung einer digitalen Lernumgebung, die insbesondere die Trennung von Inhalten nach den Ebenen des Johnstone-Dreiecks beachtet. Konzepte des sprachsensiblen Fachunterrichts sollen in der Umsetzung die Ebenen-spezifischen, fachsprachlichen Formulierungen unterstützend vermitteln.

In der Einführung wird zunächst eine theoretische Grundlage für die Erarbeitung dieser Lernumgebung angeboten. In dieser literaturbasierten Darstellung wird eine differenzierte Betrachtung der Ebenen des Johnstone-Dreiecks durchgeführt und die Umsetzung in Schulbüchern betrachtet.

Daran schließt sich eine Beschreibung zu Grundlagen des Lernens an, welche für diese Arbeit angenommen werden. Aus den Darstellungen sollen Gestaltungskriterien für Lernmaterialien abgeleitet werden. Diese Kriterien sollen als Grundlage für die Entwicklung einer Lernumgebung stehen.

Ein persönliches Ziel der Arbeit ist auch die Berücksichtigung lernschwacher Schülerinnen und Schüler. Das Lernmaterial, welches im Rahmen dieses Projektes entwickelt wird, soll für eine möglichst breite Gruppe von Lernenden zugänglich sein. Aus diesem Grund wird auch eine theoretische Betrachtung von differenziertem Lernen aufgeführt.

Die Vermittlung der Ebenen erfordert in der Kommunikation spezifische, fachsprachliche Formulierungen. Sprache ist ein tragender Baustein in allen schulischen Lernprozessen. Deshalb wird bereits im theoretischen Teil dieser Arbeit die Gestaltung von fachsprachsensiblen Unterrichtsmethoden aufbereitet. Von dieser Darstellung sollen dann weitere Umsetzungsmöglichkeiten im Rahmen einer Lernumgebung abgeleitet werden.

1.1. Das Chemische Dreieck – Johnstone-Dreieck

I believe that it exists in three forms which can be thought of as corners of a triangle. No one form is superior to another, but each one complements the other. These forms of the subject are (a) the macro and tangible: what can be seen, touched and smelt; (b) the submicro: atoms, molecules, ions and structures; and (c) the representational: symbols, formulae, equations, molarity, mathematical manipulation and graphs. (Johnstone A. , 2000, S.11)

Dieses Zitat von Johnstone (2000) bildet eine Grundlage dieser Arbeit. Er beschreibt darin, dass chemisches Wissen in drei Formen dargestellt werden kann. In der deutschsprachigen Übersetzung wird übereinstimmend der Begriff der Ebenen verwendet.

Johnstone beschreibt bereits vor der benannten Veröffentlichung die Welt der Chemie in drei Ebenen. In seiner Veröffentlichung (1982) benennt er die Möglichkeit der Betrachtung

Theoretische Grundlagen

chemischer Prozesse auf verschiedenen Ebenen. Er stellt dies zum einen in einer deskriptiven Ebene dar, welche die Beobachtung und Beschreibung von Phänomenen beinhaltet. Zum anderen beschreibt er eine erklärende Ebene, welche die Erklärungen chemischer Prozesse durch Interaktionen von Atomen, Ionen und Molekülen ermöglicht. Er ergänzt dies durch eine repräsentative Ebene, welche Symbole zur Repräsentation und vereinheitlichten Kommunikation chemischer Prozesse nutzt.

Die Benennung der Ebenen wandelt sich in einer späteren Veröffentlichung in die Bezeichnung makroskopische, submikroskopische und repräsentative Ebene (Johnstone, 1991).

Chemie lässt sich in diesen drei verschiedenen Betrachtungsdimensionen differenzieren. Johnstone nimmt an, dass fachlich versierte Personen dazu in der Lage sind, vermischte Formulierungen den Dimensionsbereichen zuzuordnen und dennoch die richtige Schlussfolgerung zu ziehen. Lernende könnten dies jedoch nicht.

First of all, the simultaneous introduction of all three aspects is a sure recipe for overloading working space. Experienced chemists can manipulate all three, but this is not so for the learner. (Johnstone, 2000, S.11)

Durch dieses Zitat soll Johnstones Annahme verdeutlicht werden, dass in der Chemie Konzepte auf allen drei Ebenen betrachtet werden können. In der Kommunikation von Chemikerinnen und Chemikern untereinander wird eine sprachliche Vermischung der Ebenen verstanden, sie sind dazu in der Lage diese Informationen zu trennen. Lernende können dies jedoch nicht. Johnstone behauptet, dass es zu einer Überforderung der Lernenden führt, wenn alle drei Ebenen gleichzeitig betrachtet werden.

Durch diese Annahme soll im späteren Verlauf dieser Arbeit die Betrachtung der kognitiven Belastung theoretisch beleuchtet werden.

Secondly, when the learner tries to store this triple layer sandwich of information, it is unlikely that he is going to find useful or usable points of attachment in Long Term Memory and so there is an attempt to 'bend' or 'manipulate' the information into a more tangible form and yet another alternative framework is born! (Johnstone, 2000, S. 11).

Johnstone beschreibt in diesem Zitat die Gefahr, dass die Lernenden bei einer vermischenden Darstellung der Ebenen alternative, fachlich nicht-anerkannte Vorstellungen bilden.

Durch dieses Zitat wird deutlich, wie bedeutsam für Johnstone ein transparenter Umgang der Ebenen im Lernprozess ist, so dass den Schülerinnen und Schülern die Zuordnung von Informationen bewusst gemacht wird und dadurch möglichst alternative Vorstellungen vermieden bzw. verringert werden.

Dies soll Grundlage für diese Arbeit sein. Im Folgenden werden die Ebenen definiert und durch den Vergleich verschiedener Literaturquellen kritisch betrachtet.

1.1.1. Definition der Ebenen

Johnstone (1991) beschreibt die Ebenen als Ecken eines Dreiecks. Keine Ebene ist nach Johnstone der anderen übergestellt, sie können einzeln betrachtet werden, ergänzen sich jedoch untereinander (Johnstone, 2000).

Er bezeichnet die Anordnung als chemisches Dreieck. In der Chemie Didaktik ist der Begriff des Johnstone-Dreiecks ein übereinstimmender Konsens.

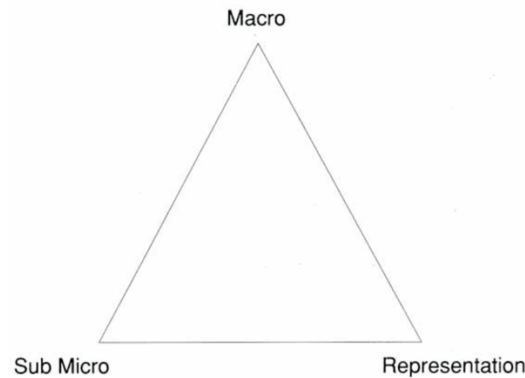


Abbildung 3 Das chemische Dreieck; Johnstone-Dreieck (Johnstone, 1993, S. 703)

Die makroskopische Ebene umfasst alles Greifbare und Sichtbare (Johnstone, 1991). Es werden darin alle Ergebnisse zugeordnet, welche durch die physischen Sinne wahrgenommen werden können oder durch Messinstrumente erhoben werden.

Die submikroskopische Ebene erklärt chemische Prozesse mit Vorstellungen von Atomen, Ionen, Molekülen, Strukturen und Energieumwandlungen (Johnstone, 2000).

Die repräsentative Ebene stellt chemische Prozesse mithilfe von Symbolen, Formeln, Gleichungen, Einheiten, mathematischen Berechnungen und grafischen Repräsentationen dar. (Johnstone, 2000)

Theoretische Grundlagen

1.1.2. Differenzierte Betrachtung des chemischen Dreiecks

Das chemische Dreieck wird fachdidaktisch mehrfach differenziert betrachtet. Die Differenzierung chemischer Aspekte ist weitestgehend Konsens, jedoch werden die Betrachtungen und Definitionen der Ebenen als auch deren Beziehungen untereinander in der Literatur diskutiert.

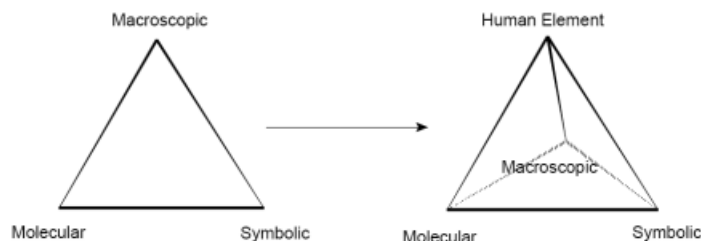


Abbildung 4 Tetraeder chemischer Bildung (Mahaffy, 2004, S. 231)

Mahaffy (2004) erweitert das Dreieck zu einem Tetraeder (vgl. Abbildung 4). Er fordert dazu auf, auch die menschliche Komponente in der Betrachtung zu berücksichtigen. So müssen nach Mahaffy historische und moderne Entwicklungen in der Wissenschaft als auch der Einfluss der Chemie auf den Menschen und die Gesellschaft mit betrachtet werden. Dies verbindet Mahaffy jedoch nicht mit einer lerntheoretischen Begründung.

Johnstone nutzt verschiedene Bezeichnungen für die Beschreibung der Ebenen. So spricht er von Denkebenen („levels of thought“) (Johnstone, 1991, 2000), von grundlegenden Bestandteilen („basic components“) (Johnstone, 1993) oder auch von Formen der Chemie („modes“ „forms“) (Johnstone, 1993).

In jüngerer Literatur werden diese Ebenen auch als Repräsentationsebenen („levels of representation“) (Gilbert & Treagust, 2009) bezeichnet. Jedoch wird diese Bezeichnung auch zugleich kritisiert, da sie mit der repräsentativen Ebene nach Johnstone zu verwechseln sein könnte (Talanquer, 2011).

Gilbert und Treagust (2009) unterstützen die Bezeichnung von Ebenen in die Differenzierung von makroskopisch (macro), submikroskopisch (submicro) und symbolisch (symbolic), da diese Bezeichnungen kurz und eindeutig sind.

Taber (2013) sieht in der Dreiteilung chemischer Aspekte bedeutende Schwierigkeiten. Er befürchtet die Verwechslung und Vermischung von zwei Ebenen. So sieht er Schwierigkeiten in der Differenzierung bezüglich der Analyse chemischer Phänomene und dem Streben danach, chemisches Wissen über diese Phänomene zu formalisieren, wenn dieses Wissen einer anderen Ebene zugewiesen wird.

Zudem äußert Taber (2013), dass die repräsentative Ebene für die Lernenden große Herausforderungen darstellt, da sie Repräsentationen für die makroskopische als auch die

submikroskopische Ebene beinhalten kann. So können Reaktionsgleichungen ambivalent gelesen werden. Beispielhaft kann die Reaktionsgleichung $2 \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$ eine repräsentative Darstellung für die makroskopische als auch die submikroskopische Ebene sein. Makroskopisch wird die Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff betrachtet, bei welcher der neue Stoff Wasser entsteht. Submikroskopisch wird ein Verhältnis von Wasserstoff-Molekülen zu Sauerstoff-Molekülen in der Reaktion dargestellt. Taber (2013) betont, dass gegenüber den Lernenden transparent gemacht werden muss, ob durch die repräsentative Ebene eine makroskopische Stoffmenge beschrieben wird oder diese als Reaktionsverhältnisse einzelner Atome, Ionen oder Moleküle untereinander zu verstehen sind.

Taber (2013) kritisiert zudem, dass zumeist die Betrachtung der einzelnen Ebenen bereits eine Abstraktion der alltäglichen Umwelt darstellt. Er benennt beispielhaft die makroskopische Ebene, in welcher zwar chemische Phänomene einzelner Stoffe beobachtet werden, dies im Chemieunterricht aber nicht die Wirklichkeit der Schülerinnen und Schüler aufgreift. Er bezeichnet dies als kognitive Belastung, welche zu berücksichtigen sei und unterstützt dadurch Mahaffys Ergänzung des chemischen Dreiecks um eine menschliche Komponente, welche in diesem Zusammenhang auch als kontextuale Komponente bezeichnet werden kann.

Taber (2013) schlägt ein Modell zur Konzeptualisierung chemischen Wissens vor, welches die Repräsentation von makroskopischen und submikroskopischen Konzepten unterscheidet. Er schlägt vor, in der makroskopischen als auch in der submikroskopischen Ebene Konzeptbildungen anzuregen und in transparenten Phasen diese Ebenen durch die Symbol-Ebene miteinander zu verbinden (vgl. Abbildung 5).

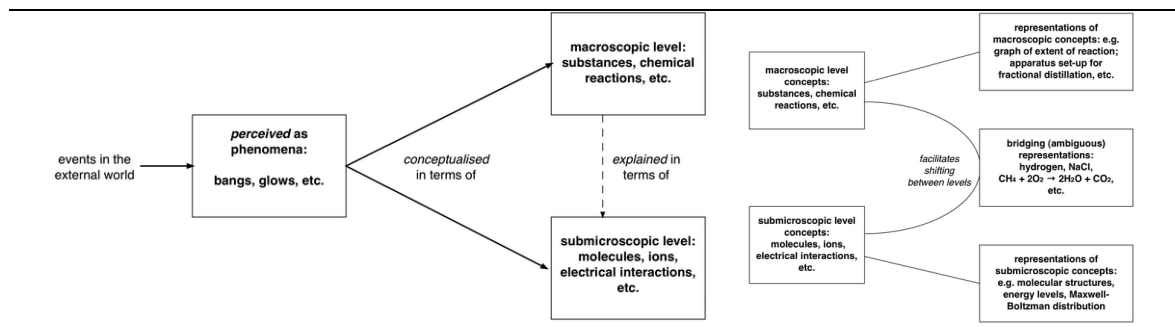


Abbildung 5 Konzeptualisierung chemischen Wissens (Taber, 2013, S. 159f)

Bucat und Mocerino (2009) betonen, dass die submikroskopische Ebene nur über die Vorstellungskraft zugänglich, jedoch zugleich nicht ausdifferenziert ist. So können Vorstellungen von Makromolekülen Kunststoffe beschreiben, eine geordnete Ansammlung gleicher Atome als ein Metall verstanden werden und im subatomaren Bereich ein Übergang von Elektronen ionische Bindungen erklären. Sie bezeichnen diese Zusammenfassung unter der submikroskopischen Ebene als eine große Herausforderung für die Lernenden. Daher schlagen sie schon eine möglichst frühe und scharfe Trennung der makroskopischen und submikroskopischen Ebene vor, um eine weitere Differenzierung der Ebenen für Lernende im weiteren Lernprozess verständlich zu machen.