

# Oxidation und Reduktion im Chemieanfangsunterricht

## Schülervorstellungen – Begriffsdefinitionen – mögliche Lehr-Lern-Wege Teil 2

von

**Rosina Steininger**

*Universität Wien – Österreichisches Kompetenzzentrum für  
Didaktik der Chemie*

### Zusammenfassung

SchülerInnen haben aufgrund ihrer Erfahrungen aus dem Alltag eigene „hausgemachte“ Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Themen und Phänomenen, die oft im Widerspruch zur wissenschaftlichen Lehrmeinung stehen. Unterrichten heißt nun, die SchülerInnen zu unterstützen, ihre bisherigen Vorstellungen zu präzisieren und gegebenenfalls auch zu revidieren.

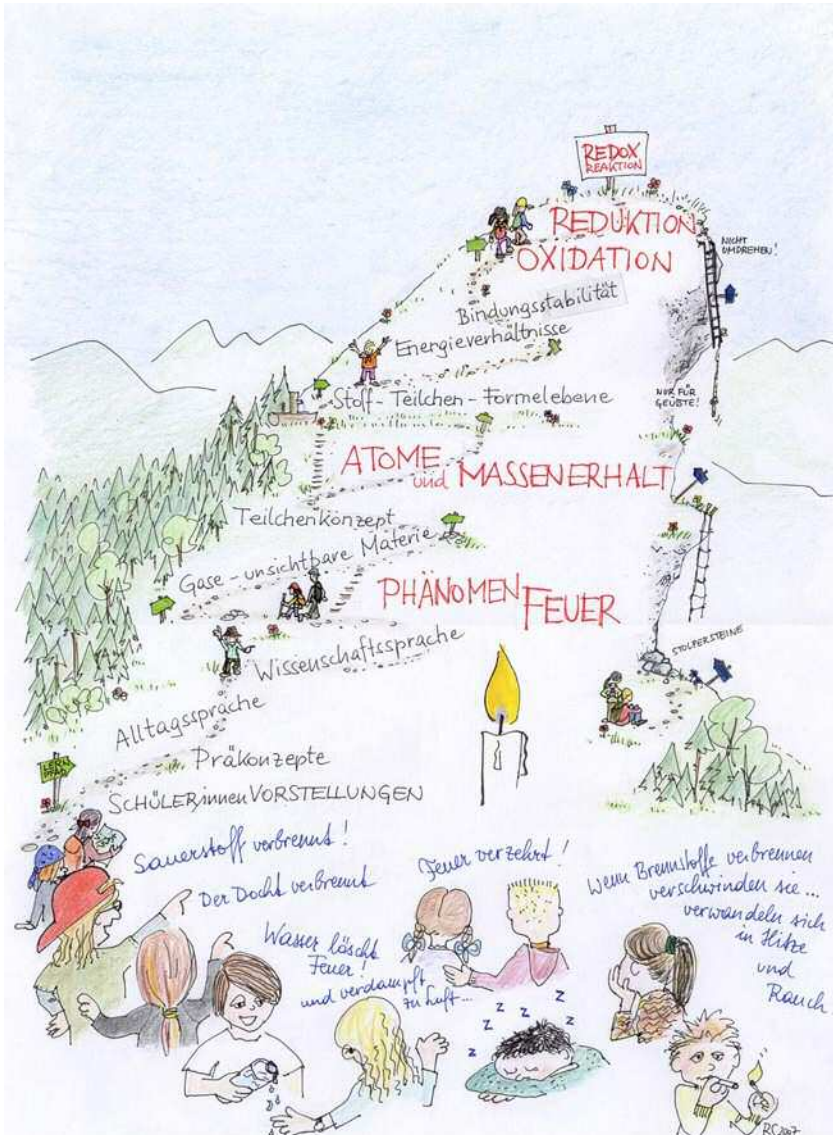
Im Chemieanfangsunterricht erfolgt der Einstieg in das Thema Redoxreaktion in der Regel über Verbrennungsvorgänge, denn er erlaubt ein Anknüpfen an die lebensweltlichen Erfahrungen der SchülerInnen. Die Präkonzepte der Lernenden erweisen sich dabei häufig als echtes Hindernis. Erschwerend kommt hinzu, dass nur wenige SchülerInnen mit dem Gasbegriff vertraut sind, dieser aber Voraussetzung ist, um die Rolle des Sauerstoffs bei Verbrennungsreaktionen verstehen zu können.

Teil 1 (in der Printausgabe) beschreibt Schülervorstellungen zum Thema Redoxreaktionen und thematisiert die Wichtigkeit der schülergerechten Sprache im Unterricht und in den Schulbüchern. Teil 2 stellt Etappen für einen Lehr-Lernweg vor, der SchülerInnen dabei unterstützen soll, ihr allgemeines Verständnis von chemischen Stoffumwandlungen zu festigen und die Begriffe Oxidation und Reduktion sinnstiftend zu erarbeiten.

### Abstract

As a result from their own experiences in the daily life, pupils develop own ideas about natural scientific subjects which are often not in accordance with today's scientific principles. Therefore teaching means to precise their existing ideas or eventually also to work them over.

Starting with chemistry lessons, the entry to the subject of redox reactions is done by burning processes, because it allows linking it with pupils' daily-life experiences.



Oftentimes the pre-concepts of the pupils turn up to be a real hurdle. In addition, only a few pupils know about the notion of gas – but this notion is a prerequisite in order to understand the role of oxygen in burning processes.

Part 1 (in the print issue) describes pupils' conceptions concerning redox reactions and treats the importance of a use of a language adapted to the pupils' level of knowledge – both during the lessons and in the course books. Part 2 describes a learning trajectory where pupils develop a firm understanding of chemical transformations and where they acquire the notions of oxidation and reduction.

### **Lehr-Lernwege zum Thema Oxidation und Reduktion**

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass die Vorstellungen vieler SchülerInnen zum Thema Verbrennungsreaktionen im Widerspruch zur heute wissenschaftlich akzeptierten Lehrmeinung stehen. Es scheint daher zweckmäßig, im Chemieanfangsunterricht neben der Erarbeitung der Begriffe Oxidation und Reduktion den grundlegenden Prinzipien chemischer Reaktionen, wie zum Beispiel der Stoffumwandlung, besondere Aufmerksamkeit zu widmen. In einem ersten Teil (erschienen in der Printausgabe) wurden aus der Literatur bekannte Schülervorstellungen dargelegt (vgl. Teil 1 Standortbestimmung: Präkonzepte zum Thema Verbrennungsreaktionen, S. 71ff), die Wichtigkeit des bewussten Umgangs mit Sprache thematisiert (ebd., Eine Basis schaffen: Begriffe und Definitionen, S. 75f) und Definitionen von Oxidation und Reduktion in Schulbüchern analysiert (ebd., Wortklauberei? S. 76ff). Der vorliegende zweite Teil der Arbeit versteht sich als grobe Skizze zur Planung und Gestaltung eines Lernpfades zum Thema „Verbrennungsreaktionen, Oxidation und Reduktion“ im Chemieanfangsunterricht der 8. Schulstufe. Dabei wurde versucht, besonderes Augenmerk auf folgende Aspekte zu richten:

- Berücksichtigen und Einbeziehen der Vorstellungen der SchülerInnen zu diesem Thema
- Konsequente Unterscheidung der Stoff- und der Teilchenebene
- Verwendung einer schülergerechten und altersadäquaten Fachsprache
- Erarbeitung bzw. Festigung der grundlegenden Prinzipien chemischer Reaktionen wie Stoffumwandlung, Massenerhaltung und Energieumsatz

Auf eine detaillierte Ausarbeitung wurde aus mehreren Gründen bewusst verzichtet: Zahlreiche Unterrichtsvorschläge und Lernzirkel zum Thema „Verbrennungsreaktionen“ wurden bereits publiziert. Einige davon sind auch im Internet frei zugänglich. (Wird auf derartige Quellen verwiesen, so sind diese zum leichteren Auffinden unterstrichen.)

Unterrichtsvorbereitungen lassen sich in der Regel nicht direkt übernehmen. Sie erfordern eine intensive Auseinandersetzung der Lehrperson mit den Materialien und eine Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten (fachliches Vorwissen der SchülerInnen durch bereits erfolgten Unterricht, Arbeitsatmosphäre, Vertrautheit der SchülerInnen mit verschiedenen Arbeitsmethoden, Klassengröße, räumliche Gegebenheiten, zeitliche Rahmenbedingungen ...).

Die oben angeführten Ziele sind auf vielfältige Weise erreichbar. Wichtig ist ihre konsequente Berücksichtigung bei der individuellen Planung des Lehrpfades. Nur so bleiben sie richtungweisend und verhindern einen Unterricht, der sich auf ein Beschreiben der Phänomene beschränkt oder sich in nebensächlichen Details verliert. Anstatt einer eingehenden „Wegbeschreibung“ werden Etappenziele formuliert und Möglichkeiten angeführt, diese zu erreichen.

## **1. Brennen, Feuer – Annäherung an die Begriffe**

### **Viele Bedeutungen von „brennen“ – eine Begriffsklärung**

Um am Unterricht aktiv teilnehmen zu können, müssen die SchülerInnen verstehen, wovon überhaupt die Rede ist. Dazu ist es notwendig, dass Alltags- und Fachsprache bewusst voneinander unterschieden werden. Unterbleibt beispielsweise die Klärung der Bedeutung wichtiger Begriffe im jeweiligen Zusammenhang, so kann das zu Missverständnissen führen. Sie sind in der Folge häufig Ursache für fachliches Unverständnis. (vgl. Teil 1, Eine Basis schaffen: Begriffe und Definitionen, S. 75). Die Begriffe „brennen“ und „verbrennen“ sind dafür ein konkretes Beispiel (vgl. Sumfleth & Todtenhaupt, 1995, S. 37).

Ten Voorde (1987) schreibt dazu:

„Hört der Chemiker das Wort „brennen“, dann benennt dies für ihn ein analysiertes, komplexes Geschehen, das er mit wechselseitig zusammenhängenden Fachtermini [...] zu beschreiben gelernt hat. [...] Für den Laien existiert die chemische Realität allerdings nicht. Das Wort „brennen“ ruft bei ihm einen Reichtum persönlicher Erlebnisse hervor. [...] Für Chemiker und Laien existieren in Bezug auf das Kaminfeuer also unterschiedliche Sprache-Sache-Relationen.“ (S. 122f)

Eine Möglichkeit, in das Thema einzusteigen, ist, die SchülerInnen aufzufordern, Sätze mit Wörtern aus der Wortfamilie „brennen“ zu bilden. Zum Beispiel: „Salzwasser brennt in den Augen.“ „Licht brennt im Stiegenhaus.“ „Mit dem neuen CD-Laufwerk kann ich auch CDs brennen.“ „Eine Kerze brennt.“ „Eine Frage brennt mir auf der Zunge.“ „Die Bäuerin brennt Schnaps.“ ...

Anschließend sollen sie die Bedeutung des Begriffs im jeweiligen Zusammenhang erörtern, um dafür sensibilisiert zu werden, dass der jeweilige Kontext zu beachten ist. Die Sätze werden entsprechend des jeweiligen Wortsinns von „brennen“ in Gruppen eingeteilt. Abschließend wird klar gestellt, dass im Folgenden nur von Verbrennungsreaktionen die Rede sein soll.

Schmidt und Parchmann (2003) schlagen zur Unterscheidung des Begriffs „brennen“ im Zusammenhang mit einer Glühbirne bzw. einer Kerze ein Demonstrationsexperiment mit einer „manipulierten“ Glühlampe vor. In den Glaskolben der Glühlampe wird vor ihrer Verwendung ein kleines Loch geschmolzen, sodass bei Inbetriebnahme der Glühfaden nur kurz und sehr hell aufleuchtet, während er verglüht (vgl. auch CHiK).

### **Vorstellungen der SchülerInnen zum Thema Verbrennungsreaktionen**

Auf die Bedeutung des Aufgreifens von Schülervorstellungen im Unterricht wurde bereits hingewiesen (vgl. Teil 1, Einen (Lehr-Lern-)Weg zu planen, erfordert eine Standortbestimmung, S 69f). Eine Möglichkeit dazu bietet das Führen eines so genannten „Sokratischen Gesprächs“ nach Martin Wagenstein (1999, 133ff). Gemeint ist damit eine Art der Gesprächsform, bei der ausgehend von einem anregenden Phänomen die SchülerInnen ihre Gedanken einbringen. Sie werden aufgefordert, Vermutungen zu äußern, Fragen aufzuwerfen, untereinander zu diskutieren und miteinander zu versuchen, der Sache auf den Grund zu gehen. Die Lehrperson hat dabei die Aufgabe zuzuhören, hin und wieder offene Fragen zu stellen und Sorge zu tragen, dass die SchülerInnen miteinander ins Gespräch kommen. Aeschlimann beschreibt in ihrer Dissertation, wie ein derartiges Gespräch zum Thema „Kerze“ geführt werden kann. (Aeschlimann, 1999, S. 62 ff). Auch das Thema „Streichholz“ bietet sich in diesem Zusammenhang an.

Ein anderer Einstieg ist das Arbeiten mit Impulstexten, wie beispielsweise mit aktuellen Zeitungsartikeln zu Brandkatastrophen oder über die Emission von Treibhausgasen. Werden historische Texte zur Entwicklung der Verbrennungstheorien verwendet (Vogelhuber, 2006), so kann verdeutlicht werden, welche großen Schwierigkeiten auch namhafte Forscher beim Erklären von Naturphänomenen hatten (und haben). Das kann dabei helfen, die Hemmschwelle der SchülerInnen zu verringern, ihre eigenen Vermutungen zu verbalisieren. Gleichzeitig wird offensichtlich, wie wichtig der wissenschaftliche Diskurs ist und wie vergänglich wissenschaftliche Theorien sind.

Um die Wirklichkeit zu begreifen, müssen wir uns Bilder von ihr machen; das gilt insbesondere dann, wenn nur Teile der Realität unseren Sinnen zu-

gänglich sind. Um Schülervorstellungen im wahrsten Sinne des Wortes sichtbar zu machen, kann man die SchülerInnen auch auffordern, grafisch darzustellen, was im Zuge einer Verbrennung passiert.

In dieser Phase der Mobilisierung der Schülervorstellungen werden vermutlich verschiedene Alltagsvorstellungen (allen voran zum Gasbegriff und zum Teilchenkonzept) auftauchen. Nur einige wenige werden von den SchülerInnen bereits in dieser Phase selbst als unwissenschaftlich erkannt werden. Die Rolle der Lehrperson beschränkt sich, wie im „Sokratischen Gespräch“, auf ein wohlwollendes Hinterfragen ohne wertendes Urteil. Erst im Lauf der Unterrichtssequenz soll den SchülerInnen bewusst werden, wo ihre ursprünglichen Erklärungsansätze „aus dem Alltag“ unbrauchbar sind und welche Vorteile die naturwissenschaftlichen Theorien mit sich bringen.

### **Vom Umgang mit Feuer**

Feuer wirkt auf die meisten Menschen faszinierend. Diese Emotionen helfen dabei, sich dem Thema weiter anzunähern. Im Folgenden werden drei Zugänge skizziert: Brandbedingungen und Brandbekämpfung, Zähmung des Feuers durch den Menschen, sowie Schülerexperimente mit Kerzen.

Die meisten SchülerInnen haben im Umgang mit Feuer Erfahrungen gesammelt, wenngleich in recht unterschiedlichem Ausmaß. Das Ausbrechen eines Brandes zu verhindern bzw. Brände bekämpfen zu können, fällt unter „Alltagsbewältigung“, ist also von lebenspraktischem Nutzen für Schülerinnen und Schüler, ebenso wie das bewusste Entfachen eines Feuers. Beim Erarbeiten der Bedingungen für die Entstehung eines Brandes (Brennstoff, Temperatur, Luft/Sauerstoff; häufig als Branddreieck bezeichnet) kann auf unterschiedliche Weise vorgegangen werden: Besuch einer Feuerwehr, Zeigen von Filmmaterial, Rechercheaufträge für SchülerInnen, Demonstrations- und Schülerexperimente, ...

Die Frage, wann es der Menschheit gelungen ist, das Feuer kontrolliert zu nutzen, wurde unter HistorikerInnen heftig diskutiert. Neueren Erkenntnissen zu Folge (Balzer, 2004) soll das bereits 780 000 v. Chr. der Fall gewesen sein. Für SchülerInnen und andere Laien ist die Art und Weise dieser Nutzung meist von größerem Interesse als die Genauigkeit historischer Zeitangaben. Allen voran das Entfachen von Feuer mittels Reibung von Holz auf Holz und unter Verwendung von Zunder fasziniert sie in der Regel. Fächerübergreifendes Arbeiten mit Geschichte, Physik und Werken bietet sich an.

Alltäglicher und auf den ersten Blick weniger spektakulär ist die Frage

nach den Vorgängen beim Abbrennen einer Kerze. Dazu bietet es sich an, die SchülerInnen selbst Versuche durchführen zu lassen. Stellvertretend für die vielen Unterrichtsvorschläge zu diesem Thema seien an dieser Stelle zwei erwähnt: Helmert und Salinger (1999) stellen in ihrem Konzept „Die Kerze – eine Unterrichtseinheit im Anfangsunterricht Chemie“ mehrere variabel kombinierbare Unterrichtsmodule vor, wobei rund um die Kerze auch die Themen Luft, Kohlenstoffdioxid und Wasser behandelt werden. Voglhuber (2006) thematisiert in ihrem Artikel „Wie brennt eine Kerze? Anfangsunterricht in der 4. und 7. Klasse eines Gymnasiums in Österreich“ auch viele physikalische Aspekte, wie beispielsweise das Lichtspektrum der Kerzenflammen oder die Wärmeableitung einer brennenden Zigarette.

Alle drei Szenarien (Brandbekämpfung, Geschichte des Feuers, Kerze) können aus der Perspektive der Chemie einen ähnlichen Lernertrag mit sich bringen. Stets wird man sich in diesem Stadium auf die Beschreibung der Phänomene und ihre Erklärung auf der Stoffebene beschränken.

#### *Etappenziel 1:*

*Die Annäherung an das Thema erfolgt über das Phänomen Feuer und den Begriff „brennen“. Ausgehend von den Alltagserfahrungen und der Alltagssprache der Lernenden, sowie ihren Präkonzepten, kann man sich der Materie auf vielfältige Weise weiter nähern. Im Vordergrund steht ein Sich-vertraut-machen mit den Phänomenen.*

## **2. Vom Phänomen zum Modell**

Der Übergang von der beschreibenden zur erklärenden Chemie und damit zum Verstehen führt über das Teilchenkonzept hin zum Konzept von den Atomen. Je nachdem wie ausführlich und nachhaltig diese Konzepte bereits im Chemie- oder Physikunterricht erarbeitet wurden, wird es notwendig sein zu wiederholen, zu ergänzen, gegebenenfalls richtig zu stellen oder ganz neu zu beginnen. Wieder sollten dabei in jedem Fall zunächst die Vorstellungen der SchülerInnen thematisiert werden, um ein Bewusstsein für die jeweilige „Ausgangssituation“ zu schaffen.

### **Gase – unsichtbare Materie**

Die Beschäftigung mit dem Gasbegriff ist beim Thema Verbrennungsreaktionen unabdingbar, spielen Gase doch sowohl als Edukte als auch als mögliche Produkte eine zentrale Rolle. Für viele SchülerInnen ist jedoch der Gasbegriff

im Chemieanfangsunterricht schwer zu fassen (vgl. Teil 1, Standortbestimmung: Präkonzepte zum Thema Verbrennungsreaktionen, S. 71).

Farblose Gase sind „Luft“ oder luftähnlich, Wasser verdunstet zu „Luft“.  
 Gase sind brennbar, sind zum Kochen und Heizen da.  
 Gase sind gefährlich, sind explosiv, sind giftig.  
 Gase sind „flüssig“, in Feuerzeugen befindet sich „Flüssiggas“.  
 Frische Luft ist „gute“ Luft; Luft ohne Sauerstoff ist „schlecht“.

Abb 3: Schülervorstellungen zum Thema Luft und andere Gase  
 aus: Barke & Harsch (2001); zitiert nach: Sammlung von Schülervorstellungen

Schmidt und Parchmann (2003) zeigen in ihrem Artikel „Von »erwünschten Verbrennungen und unerwünschten Folgen« einen möglichen Zugang über das Thema „Treibhauseffekt und Kohlenstoffdioxidemissionen“ auf. Aufgrund der medialen Berichterstattung und der dort dargestellten Szenarien einer drohenden Klimakatastrophe sind die meisten SchülerInnen dafür sensibilisiert. Sie werden aufgefordert, der Frage nachzugehen, ob die Verbrennung von Treibstoffen immer Kohlenstoffdioxid produziere. Im Anschluss daran sollen sie in Kleingruppen zu ausgewählten Treibstoffen recherchieren. Als Ergebnis dieses Unterrichtsabschnitts wird ein einfacher Kohlenstoffkreislauf zur Entstehung und Verbrennung fossiler Rohstoffe erarbeitet, ohne jedoch bereits das Teilchenkonzept zu thematisieren. Vielmehr sollen die SchülerInnen angeregt werden, selbst nach einer Erklärung hinter der stofflichen Ebene zu suchen.

Im neuen Lehrplan für Physik AHS<sup>1</sup>-Unterstufe steht für die 6. Schulstufe: „Ausgehend von Alltagserfahrungen sollen die Schülerinnen und Schüler immer intensiver mit dem Teilchenmodell und seinen Auswirkungen auf diverse Körpereigenschaften vertraut gemacht werden.“ In der Regel kann aber von „Vertrautheit“ mit dem Teilchenmodell zu Beginn des Chemieunterrichts in der 8. Klassenstufe nicht die Rede sein. Folglich ist es zweckmäßig, auch zu diesem „Unterkapitel“ zunächst die Vorstellungen der SchülerInnen in Erfahrung zu bringen, um sie im Unterricht zu thematisieren.

Harsch und Heimann (2006a und 2006b) zeigen in ihrem Artikel „Von der Luft zu den »Lüften«“ auf, wie die Entwicklung eines tragfähigen Gasbegriffs Hand in Hand gehen kann mit der Erarbeitung und/oder Festigung des Teil-

<sup>1</sup> AHS = Allgemeinbildende Höhere Schule in Österreich = Gymnasium



chenbegriffs. Sie weisen darauf hin, welche hohen Anforderungen an das Abstraktionsvermögen der SchülerInnen gestellt werden, da die Teilchen weder mit freiem Auge, noch mit dem Mikroskop direkt zu sehen sind. Ihre ausführlichen unterrichtspraktischen Anregungen enthalten dabei im ersten Teil (2006a) ausschließlich grundlegende physikalische Experimente mit Luft. Sie argumentieren: „Wer ein Haus bauen will, sollte nicht an den Fundamenten sparen zugunsten höherer Stockwerke oder schönerer Fassaden“ (2006b, S. 481). Erst im Anschluss daran werden chemische Reaktionen beschrieben, an denen Gase beteiligt sind (2006b). Fächerübergreifendes Arbeiten in Kooperation mit der Lehrperson für Physik bietet sich an.

### **Vom Umgang mit dem Teilchenkonzept**

Eilks et al. (2004) nennen als Ursache für die Schwierigkeiten bei der Vermittlung des Teilchenkonzepts und die daraus resultierenden Verständnisprobleme der Schülerinnen und Schüler die Vielzahl der Modelle. Was ist mit einem Teilchen eigentlich gemeint? Ein Partikel, ein Molekül, ein Atom, ein Elementarteilchen? Wieso zählt man Moleküle zu den kleinen oder gar kleinsten Teilchen, wo sie doch selbst wiederum aus Atomen, also noch kleineren Teilchen bestehen und diese wiederum aus noch kleineren, den Elementarteilchen? Unterbleibe, so Eilks et al. (2004), eine altersgemäße Eingrenzung [Worin besteht diese? Anm. d. Verf.] der verschiedenen Modelle und Konzepte, auf bestimmte Anwendungsbereiche, so erfahre die Konzeptentwicklung der SchülerInnen Brüche, werde nicht mehr nachvollziehbar und erscheine widersprüchlich. Neben ihrer theoretischen Arbeit stellen sie eine multimediale Lernumgebung<sup>2</sup> zur Erarbeitung des Teilchenbegriffs vor. Ihr Ziel ist es, durch einen „*widerspruchsfreien und anschlussfähig-erweiterbaren Aufbau*“ eine Konzeptentwicklung hin zu einem tragfähigen Ganzen zu ermöglichen. Die Kernaussagen für ein erstes Teilchenmodell sind in Eilks (2002a, 2004) übersichtlich zusammengefasst.

---

<sup>2</sup> <http://www.chemiedidaktik.uni-bremen.de/Material/teilchen.htm>

- Alle Stoffe bestehen aus kleinen Teilchen, die eine Masse besitzen. Diese kann man selbst durch das beste Mikroskop nicht direkt mit dem Auge sehen. [...]
- Zwischen den kleinen Teilchen ist nichts.
- Die kleinen Teilchen sind ständig in Bewegung. Mit steigender Temperatur nimmt diese Bewegung zu, mit fallender ab. Bei gleichbleibender Temperatur bleibt die Bewegung aller kleinen Teilchen zusammen genommen erhalten.
- Zusammenstöße zwischen zwei kleinen Teilchen verlaufen so, dass beide zusammengenommen ihre Bewegungsenergie behalten.
- Zwischen den kleinen Teilchen herrschen Anziehungs- und Abstoßungskräfte, die stark vom Abstand abhängig sind.
- Gleiche Stoffe bestehen aus gleichen kleinen Teilchen. Die kleinen Teilchen verschiedener Stoffe unterscheiden sich in Form und Größe.
- Mit diesen Grundaussagen über den Aufbau der Stoffe aus kleinen Teilchen können wir uns einige Beobachtungen aus dem Alltag erklären. Wir können und dürfen aber noch keine Aussagen über die Gestalt oder das Aussehen der kleinen Teilchen machen. Hierzu benötigen wir Informationen über die Bausteine und den Aufbau der kleinen Teilchen.

Abb. 4: Kernaussagen für ein erstes Teilchenkonzept  
aus: Eilks, 2002a, S. 10

Hinsichtlich chemischer Reaktionen wird es durch folgende Feststellung ergänzt: „Chemische Reaktionen sind Vorgänge, bei denen sich die kleinen Teilchen, aus denen die jeweiligen Stoffe bestehen, verändern“ (Eilks, 2002a, S. 12). Im zweiten Teil der Arbeit, in der Eilks (2002b) unter anderem Möglichkeiten zur Vermittlung des Atom- und Atombaukonzepts aufzeigt, formuliert er als erste Kernaussagen: „Die kleinen Teilchen, aus denen alle Stoffe bestehen, sind aus einem oder mehreren Bausteinen aufgebaut. Dies sind die Atome“ (S. 26). Dass auch die Atome wiederum aus noch kleineren Teilchen, den Elementarteilchen bestehen, – und das, obwohl sich das Wort vom altgriechischen *átomos* „unteilbare“ herleitet –, macht die Sache noch komplizierter.

#### *Etappenziel 2a:*

*Mit Hilfe des Teilchenmodells lassen sich viele Eigenschaften der Stoffe erklären. Es besagt, dass alle Stoffe aus kleinen Teilchen bestehen, die eine Masse besitzen und ständig in Bewegung sind. Bei Gasen sind die Abstände zwischen den Teilchen sehr groß.*

**„Aus nichts wird nichts“ – Atome und Massenerhaltung**

Die Existenz von Atomen ist so gut wie allen SchülerInnen in dieser Alterstufe bekannt. Häufig sind ihre Vorstellungen und Kenntnisse jedoch diffus. Was passiert mit den Atomen, wenn sich im Zuge chemischer Reaktionen die Teilchen ändern?

Dass eine Kerze bei ihrer Verbrennung kleiner wird, also an Masse verliert, ist für SchülerInnen eine Selbstverständlichkeit. Umso erstaunlicher ist für viele von ihnen die Veränderung der Masse vom Edukt zum Produkt wenn Stahl- oder Eisenwolle verbrannt wird (vgl. z. B. Wagner, 2006). Wie kann etwas beim Verbrennen schwerer werden? Ähnlich groß ist die Verwunderung, dass es entgegen aller Erwartung bei der Verbrennung von Kohlenstoff im geschlossenen System zu keiner Änderung der Masse kommt, wo doch der Kohlenstoff verschwunden und der Kolben „leer“ ist (vgl. Johannsmeyer, 2003). Eine Variante dieses Experiments ist in der Literatur unter der Bezeichnung „Boyle-Versuch“ zu finden und wird unter anderem von Habelitz-Tkotz (2003) ausführlich beschrieben. Derartige kognitive Konflikte können dazu beitragen, dass SchülerInnen erkennen, dass sich ihre eigenen Vorstellungen zur Erklärung des Phänomens nicht eignen und können so zu einer Konzepterweiterung beitragen. (vgl. Teil 1, Lernen bedeutet Konzepte ändern, S. 70)

Erhellend kann bei SchülerInnen ein vom Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor der TU Braunschweig ausgearbeitetes Experiment wirken. Dabei wird die Verbrennung von Stahlwolle und Holzwolle direkt miteinander verglichen, indem die „Brennstoffe“ zunächst gewogen, in einer Porzellanschale entzündet und die gegebenenfalls entstehenden gasförmigen Verbrennungsprodukte mit einem umgedrehten Trichter aufgefangen und mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe durch Kalkwasser gesaugt werden.

Geht man noch einen Schritt weiter und fängt die bei der Verbrennung einer Kerze entstehenden gasförmigen Produkte auf, um sie mitzuwiegen (vgl. Obendrauf, 2003), so lässt sich der scheinbare Widerspruch von Massenabnahme bei der Verbrennung organischer Stoffe und Massenzunahme bei der Verbrennung von Metallen aufklären.

Die Erhaltung der Masse bei chemischen Reaktionen lässt darauf schließen, dass sich zwar die kleinen Teilchen im Zuge der Stoffumwandlung verändern, die Bausteine, aus denen sie bestehen, jedoch erhalten bleiben und sich nur neu gruppieren. Dass es gerade im Zuge von Redoxreaktionen auch zur Bildung von Ionen aus Atomen kommen kann (und umgekehrt), wird man an dieser Stelle nicht erwähnen.

*Etappenziel 2b:*

*Die Bausteine der kleinen Teilchen sind die Atome. Im Zuge chemischer Reaktionen gruppieren sich die Bausteine/Atome um. Aus den Ausgangsstoffen entstehen neue Endstoffe. Die Masse bleibt jedoch erhalten.*

### **Von Ebenen und Dreiecken**

„Chemische Grundbildung soll mit dem für die Chemie charakteristischen »Zwiedenken«, das im submikroskopischen Bereich Erklärungen für Vorgänge im makroskopischen sucht und findet, vertraut machen.“ So steht es im Lehrplan für Chemie der AHS-Oberstufe. Und in der Unterstufe? Auch da wird als Lehrstoff angeführt: „Einsicht in ein altersgemäßes Teilchen- bzw. Atommodell“ und „Kennenlernen der chemischen Symbol- und Formelsprache“ (vgl. Lehrplan für Chemie der AHS-Unterstufe). Der Unterschied liegt im „Kennenlernen“ und „vertraut machen“.

Im Chemieanfangsunterricht bereitet es vielen SchülerInnen große Schwierigkeiten, gedanklich zwischen der Stoff- und der Teilchenebene zu wechseln. Phänomene auf der makroskopischen Ebene zu beschreiben, fällt ihnen meist leicht. Der Aufforderung, diese Beobachtungen auch auf der submikroskopischen Ebene zu deuten, können häufig nur wenige von ihnen nachkommen. Denn der Mehrheit fehlen die entwicklungspsychologischen Voraussetzungen zum abstrakten Denkvermögen formal operationaler Natur (vgl. Schmidt, 1981; Gräber & Stork, 1984). Diese SchülerInnen finden auch kaum Zugang zur Ebene der formalen Beschreibung chemischer Vorgänge mit Hilfe von Symbolen, Formeln und Reaktionsgleichungen.

Bergerhoff ortet eine der grundlegenden Schwierigkeiten darin, dass die Lehrenden die Verständnisprobleme der Lernenden erheblich unterschätzen.

„Sehen oder denken nämlich die Lehrerinnen und Lehrer hinter den Phänomenen immer auch die modellhaft vorgestellte Struktur der Stoffe, hinter den Symbolen und Formeln die Atome, Ionen und Moleküle geradezu dinghaft, so sehen die Schülerinnen und Schüler meist nur die phänomenale Struktur.“ (1995, S 246).

Das Zusammenspielen der drei gedanklichen Ebenen: makroskopisch, submikroskopisch und formal, wird von Johnstone (2000) als „the chemistry triangle“ bezeichnet. Er bringt es auf den Punkt, wenn er schreibt: „It is psychological folly to introduce learners to ideas at all three levels simultaneously. Herein lies the origin of many misconceptions. The trained chemist can keep these three in balance, but not the learner“ (Johnstone, 2000, S. 9). Gleichzeitig sollte man nach Eilks „... vermeiden, Inhalte auf der phänomenologischen

Ebene umfassend und aus der Schülersicht auch abschließend behandelt zu haben, bevor dann quasi als Anhang eine Teilchendeutung vorgestellt wird.“ (2002a, S. 8).

Die Bezeichnung “chemisches Dreieck” suggeriert, dass jede Ecke von den beiden anderen erreicht werden kann. Das ist irreführend. Denn im Grunde genommen ist die Verbindung vom Phänomen zur Reaktionsgleichung nur über die Teilchenebene möglich. ChemikerInnen haben gelernt, sie zu „überfliegen“. SchülerInnen müssen hier „zwischenlanden“, brauchen Zeit, sich zu „akklimatisieren“ und Zeit, sich Bilder zu machen.

Ein gutes Beispiel, wie die Stoff- und die Teilchenebene einander gegenübergestellt werden können, zeigt Schmitz in der interaktiven Animation „Der Lösungsvorgang von Kochsalz in Wasser“. Um den Wechsel zwischen der makroskopischen und der submikroskopischen Betrachtungsweise zu üben, eignen sich aber auch einfache grafische Darstellungen, beispielsweise in Form einer Filmleiste.

Erst wenn das Hin- und Hergehen zwischen diesen beiden Betrachtungsweisen entlang der einen Dreieckseite eingehend von den SchülerInnen geübt wurde, können sie in die dritte, in die formale „Ecke“ vordringen.

*Etappenziel 2c:*

*Auf der Ebene der Stoffe hören die Ausgangsstoffe auf zu existieren und neue Endstoffe entstehen (Stoffumwandlung). Auf der Ebene der Teilchen gruppieren sich die Atome nur neu, bleiben jedoch erhalten. Der Vorgang des Umgruppierens lässt sich durch eine Reaktionsgleichung darstellen.*

### **3. Energieverhältnisse und Bindungsstabilität**

Das Thema Verbrennungsreaktionen bietet sich an, auch am Energie-Konzept als einem der fachlichen Grundkonzepte der Chemie zu arbeiten. Zum Verständnis, warum viele chemische Reaktionen Energie liefern, andere jedoch nur unter Energiezufuhr ablaufen, sind nur wenige Kernaussagen notwendig:

1. Zum Trennen von Bindungen, also zum Zerlegen der kleinen Teilchen in ihre Bausteine, wird (in der Regel) Energie gebraucht.
2. Verbinden sich Bausteine zu kleinen Teilchen, so wird dabei (in der Regel) Energie frei.
3. Wird zum Trennen der Bindungen der Ausgangsstoffe weniger Energie gebraucht, als beim Knüpfen der Bindungen der Endstoffe frei wird, so wird in Summe Energie an die Umgebung abgegeben.

Das im Unterricht erarbeitete Modell der kleinen Teilchen und ihrer Bestandteile wird genutzt, um Phänomene zu erklären und zu begreifen, mit denen die SchülerInnen zwar auf der Stoffebene vertraut waren, ohne jedoch deren Ursache auf der Teilchenebene zu kennen. Das Modell der chemischen Bindung, das seinerseits wiederum Wissen über den Atombau voraussetzt, ist dazu nicht notwendig.

Sollte bei den SchülerInnen die Frage nach dem Wesen und der Ursache dieser Bindungen auftauchen, so ist das ein sicheres Zeichen, dass ihr Interesse geweckt worden ist. Sollten sie darüber hinaus auch noch wissen wollen, warum gerade Sauerstoffatome so stabile Bindungen mit zahlreichen anderen Atomsorten eingehen, wird man auf das noch zu erarbeitende Thema „Atom- bau und chemische Bindung“ hinweisen.

*Etappenziel 3 (optional):*

*Ob eine chemische Reaktion Energie liefert oder verbraucht, hängt davon ab, wie stabil die Bindungen zwischen den Bausteinen der Teilchen sind, die gelöst, bzw. neu geknüpft werden.*

#### **4. Oxidation und Reduktion**

Auf der Grundlage der bis hierher erarbeiteten Begriffe und Modelle bedarf es nur mehr weniger Erläuterungen zum Verständnis von Oxidations- und Reduktionsvorgängen – sofern man sich auf die Reaktionen mit Sauerstoff und Sauerstoffverbindungen beschränkt. Es geht darum, zwei oder drei weitere Fachvokabel zu lernen, den Blickwinkel zu vergrößern und den Blick auch in die andere Richtung zu richten.

Eine essentielle Rolle spielt die sorgfältige Wortwahl bei der Definition der Wortbedeutungen. So wie Eilks et al (2004) es für das Teilchenkonzept fordern, müssen auch diese Begriffe widerspruchsfrei und anschlussfähig-erweiterbar sein. (vgl. Teil 1, S. 75ff).

#### **Von der Verbrennung zum Begriff der Oxidation**

Im Folgenden werden Definitionen für den Begriff Oxidation entwickelt.

Reagiert ein Stoff mit Sauerstoff, so spricht man von einer Oxidation. Man sagt, der Stoff wird vom Sauerstoff oxidiert. Sauerstoff ist ein Oxidationsmittel.

Der zweite und der dritte Satz bereiten auf die Erweiterung hin in Richtung Reduktion und schließlich Redoxreaktion vor. Die Definition ist bewusst so gewählt, dass sie die Stoffebene beschreibt und nicht die Teilchenebene. Im Chemieanfangsunterricht verfügen die SchülerInnen nicht über ausreichend Vorkenntnisse, die verschiedenen Bindungsarten, die Sauerstoff eingeht, zu verstehen. Der Unterschied zwischen Atomen und Ionen ist ihnen in der Regel wenig vertraut. Eine widerspruchsfreie und anschlussfähig-erweiterbare Definition auf der Teilchenebene würde aber genau diese Unterscheidungsfähigkeit voraussetzen.

Auf der Stoffebene gilt es, das Bewusstsein zu erweitern: Auch Vorgänge wie das Rosten, die Nährstoffverwertung oder die Bildung von Essig aus alkoholischen Getränken zählen zu den Oxidationsprozessen. SchülerInnen fällt es oft schwer zu verstehen, dass Reaktionen, die auf der Ebene der Phänomene völlig unterschiedlich sind, auf der Teilchenebene große Ähnlichkeiten aufweisen. Auf Übereinstimmungen und Differenzen muss deshalb besonders hingewiesen werden. Zum Beispiel: Die Reaktionen verlaufen allesamt exotherm, allerdings unterschiedlich schnell. Die beim Rosten frei werdende Energie ist für uns deshalb in der Regel nicht wahrnehmbar. (Eine Ausnahme bilden die Einmal-Wärmebeutel, bei denen feines Eisenpulver in einer Mischung mit Aktivkohle und Kochsalz an der Luft oxidiert.) Die Energie, die bei der Nährstoffverbrennung frei wird, erhält uns am Leben. Oder: Die Endstoffe sind bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe im Motor, im Ofen oder im kalorischen Kraftwerk ganz ähnlich wie bei der Umsetzung der Nährstoffe zur Energiegewinnung durch die Körperzellen. Es entstehen hauptsächlich Kohlenstoffdioxid und Wasser.

*Etappenziel 4a:*

*Reagiert ein Stoff mit Sauerstoff, so spricht man von einer Oxidation. Sauerstoff wird als Oxidationsmittel bezeichnet. Beispiele für typische Oxidationsreaktionen: Verbrennungsvorgänge, Rosten, Atmung, ...*

### **Reduktion – mehr als nur eine Umkehrung!**

Vielfach wird in Schulbüchern die Reduktion im Anschluss an die Oxidation behandelt und als ihre Umkehrung bezeichnet (vgl. Teil 1, Wortklauberei? S. 76ff). Diese Darstellungsweise kann bei SchülerInnen Verwirrung hervorrufen. Kann man eine Verbrennungsreaktion denn wirklich rückgängig machen? Ist es möglich, aus Kohlenstoffdioxid wieder Kohlenstoff oder aus Rost wieder Eisen zu gewinnen? ChemikerInnen wissen Bescheid darüber, was theoretisch

tisch möglich und was praktisch und unter welchen Bedingungen realisierbar ist. Vielen SchülerInnen sind derartige Stoffumwandlungen nicht vorstellbar; es entzieht sich gänzlich ihrer Erfahrungswelt.

Die Gewinnung von Metallen aus oxidischen Erzen liegt zwar außerhalb des Erfahrungsbereiches von SchülerInnen, bietet sich jedoch aufgrund der relativen Einfachheit und der wirtschaftlich-technischen Bedeutung an, um das Thema „Reduktion“ zu erarbeiten. Wichtig dabei ist, dass man wieder an das Bekannte anschließt und sich auf das Wesentliche beschränkt: Die Erzeugung von Metallen aus den Metalloxiden ist eine Stoffumwandlung, kein physikalischer Vorgang. Die Stoffteilchen ändern sich, indem sich ihre Bausteine umgruppieren. Details über den Hochofenprozess können getrost weggelassen werden.

Neu daran ist, dass Sauerstoff nicht mehr in elementarer Form beteiligt ist (sieht man von der thermischen Zersetzung von Silberoxid und der Elektrolyse von Wasser ab), sondern immer als „Baustein“ von Verbindungen. Geändert hat sich auch die Betrachtungsweise, der Blickwinkel: Bei den Verbrennungsreaktionen war das vorrangige Ziel die Energiegewinnung, manchmal auch die Beseitigung von Stoffen, wie etwa bei der Müllverbrennung. Korrosion versucht man in der Regel zu verhindern. Bei der Gewinnung von Metallen aus den oxidischen Erzen hingegen ist es anders: Man möchte einen Stoff, das elementare Metall, gewinnen und ist bereit, einen anderen Stoff (das Reduktionsmittel) dafür einzusetzen. Der Sauerstoff soll dem Ausgangsstoff entzogen werden.

Auf der Stoffebene gilt:

Gibt ein Stoff im Zuge einer Reaktion Sauerstoff ab, so spricht man im Allgemeinen von einer Reduktion. Der Stoff wird von seinem Reaktionspartner reduziert. Diesen Reaktionspartner bezeichnet man als Reduktionsmittel.

An dieser Stelle bietet es sich an, den Umgang mit Sprache erneut aufzugreifen: „reduzieren“ ist im Gegensatz zu „oxidieren“ ein Verb, das viele SchülerInnen aus dem Alltag kennen, wenngleich es eher ihrem passiven, denn ihrem aktiven Wortschatz zuzuschreiben ist. Einmal mehr kann darauf hingewiesen werden, dass sich die konkrete Bedeutung eines Wortes aus dem Zusammenhang ergibt: „Im Ausverkauf werden die Preise reduziert.“ „Diese Diät hilft das Gewicht zu reduzieren.“ „Durch Reduzieren des Bratensafts erhält man eine würzige Sauce.“ ... In der gehobenen Alltagssprache steht „reduzieren“ für verringern. Das Wort leitet sich vom lateinischen „reducere“ =



„zurückführen“ ab. Auf diese Wurzel geht auch die chemische Bedeutung zurück. Ursprünglich aus der Metallurgie stammend beschreibt es einen Prozess, um Erze zu Metallen „zurückzuführen“.

*Etappenziel 4b:*

*Gibt ein Stoff im Zuge einer Reaktion Sauerstoff (an einen Reaktionspartner) ab, so spricht man von einer Reduktion. Den Reaktionspartner bezeichnet man als Reduktionsmittel. Wichtiges Beispiel für eine Reduktion: Gewinnung von Metallen aus oxidischen Erzen*

### **Der Blick in beide Richtungen – Redoxreaktionen**

Schon am Beispiel der Reaktion von Eisenoxid mit Kohlenstoff lässt sich zeigen, dass gleichzeitig mit der Reduktion des Eisenoxids zu elementarem Eisen die Oxidation von Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid stattfindet. Darüber hinaus gibt es mehrere eindrucksvolle Demonstrationsexperimente, anhand derer das Prinzip der Kopplung von Oxidation und Reduktion erörtert werden kann. Als Beispiel seien hier der Thermitversuch, die Verbrennung einer „Unterwasserfackel“ und die Verbrennung von Magnesium in einer Kohlenstoffdioxidatmosphäre genannt.

Ein Reaktionspartner wirkt als Oxidationsmittel, der andere als Reduktionsmittel.

Das Reduktionsmittel reduziert seinen Reaktionspartner (das Oxidationsmittel) und wird dabei selber oxidiert. Das Oxidationsmittel oxidiert dabei seinen Reaktionspartner (das Reduktionsmittel) und wird dabei selber reduziert. Man spricht daher von einer Redoxreaktion.

Die Verbrennung von Magnesium in einer Kohlenstoffdioxidatmosphäre hat zwar wenig direkten Alltagsbezug, bietet aber die Möglichkeit, noch einmal wichtige Kernaussagen zu wiederholen und das Thema abzurunden. Das Experiment zeigt, dass Gas nicht gleichbedeutend ist mit Luft oder „Nichts“. Es veranschaulicht, dass im „unsichtbaren“ Kohlenstoffdioxid Kohlenstoffatome enthalten sind, die in dem Moment „sichtbar“ werden, indem sie sich zu Ruß umgruppieren. Da die Reaktion exotherm verläuft, kann man schließen, dass die Bindung zwischen Magnesium und Sauerstoff im Magnesiumoxid noch stabiler ist, als die Bindung zwischen Kohlenstoff und Sauerstoff im Kohlenstoffdioxid. Abgesehen von den fachspezifischen theoretischen Erörterungen lohnt sich ein Abstecher zurück zum lebensnäheren Kapitel „Vom

Umgang mit dem Feuer“. Erst jetzt können die SchülerInnen verstehen, weshalb Metallbrände weder mit Wasser noch mit Kohlenstoffdioxid gelöscht werden können.

*Etappenziel 4c:*

*Wirkt in einer Reaktion ein Stoff als Oxidationsmittel, der andere als Reduktionsmittel, so spricht man von einer Redoxreaktion.*

## **5. Innehalten – Rückblick und Ausblick am Lernweg**

Häufig endet an dieser Stelle der Lernweg zum Thema Redoxreaktionen eher abrupt. Es sind mehrere Wochen vergangen, die Lehrperson hält das Ziel für erreicht und beginnt, in Anbetracht der noch zu erarbeitenden „Stofffülle“, umgehend mit dem nächsten Thema; z. B. Säure-Base-Reaktionen. Auf diese Weise bringt sie jedoch die SchülerInnen (und sich selbst) um die „Genussphase“, das zufriedene Innehalten und sich Bewusstmachen der eigenen Leistungen und Lernfortschritte; – die wohlverdiente Gipfelrast mit Blick ins Tal und auf die umliegenden Berge. Das Gefühl, etwas erreicht, verstanden, dazu gelernt zu haben, ist nicht nur in der Situation zutiefst befriedigend, sondern führt letzten Endes zu mehr Selbstvertrauen. Diese positiven Erfahrungen erleichtern es den SchülerInnen, sich später auf neue Themen und „Lernreisen“ einzulassen, sich aktiv zu beteiligen und Lernaufgaben als Herausforderung und nicht als Zumutung aufzufassen.

Eine Möglichkeit diese „Genussphase“ zu gestalten besteht darin, die Eingangsaufgabe zur Erhebung der Schülervorstellung erneut aufzugreifen mit der Aufforderung, die ursprünglichen Konzepte dem neu erworbenen wissenschaftlichen Konzept gegenüberzustellen. Beispielsweise können die SchülerInnen nun Fragen beantworten, die während des Sokratischen Gesprächs aufgetaucht, aber unbeantwortet geblieben sind. Oder sie erfahren beim abermaligen Lesen der Impulstexte, wie in vielen Punkten aus dem Zurkenntnis-Nehmen ein Verstehen geworden ist. Auch eine Überarbeitung der grafischen Darstellungen der Vorgänge bei Verbrennungen bietet sich an.

Das neu erworbene Wissen nach außen zu tragen und sich dabei als ExpertIn zu erleben, ist eine andere Möglichkeit. Die SchülerInnen können beispielsweise angeregt werden, mit ihren Eltern ein Gespräch zum Thema Verbrennungsreaktionen zu suchen. Zeitintensiv, aber in der Regel sehr lohnend ist es, wenn SchülerInnen in dieser Phase für jüngere Kinder das Thema aufbereiten, etwa für einen Experimentierhalbtage an einer Volksschule (Primarstufe).

Gut lassen sich Lernfortschritte auch durch das Führen eines sogenannten Lerntagebuchs erfahrbar machen. Darin sollen die SchülerInnen regelmäßig festhalten, was sie gelernt und erlebt haben, welche Fragen offen geblieben sind und wo sie Schwierigkeiten hatten. Durch ein einfaches Zurückblättern und Nachlesen wird der eigene Lernzuwachs deutlich, wird sichtbar, wie es jeder einzelnen Schülerin und jedem einzelnen Schüler gelungen ist, ihre/seine Konzepte zu verändern und neue Denkstrukturen aufzubauen.

Wie auch immer diese Zeit des Innehaltens aussieht, im Vordergrund muss stehen, dass die Lernenden Fortschritte gemacht und Hindernisse überwunden haben, dass sie einen kleinen Ausschnitt der Wirklichkeit ein wenig besser verstehen, als noch einige Wochen zuvor. Der Einsatz hat sich gelohnt. Mit ausreichend Selbstkompetenzüberzeugung lassen sich dann nach dieser „Genussphase“ auch die nächsten Gipfel und die ihnen vorgelagerten Etappenziele in Angriff nehmen.

#### *Etappenziel 5:*

*Sich die eigenen Lernfortschritte bewusst zu machen steigert die Selbstkompetenzüberzeugung und in der Folge Motivation und Arbeitshaltung der Lernenden.*

Lehren und Lernen lässt sich aber auch vergleichen mit dem händischen Schließen einer Naht: Wählt man den Vorstich, ist die Arbeit rasch erledigt, doch die Naht geht bei der geringsten Belastung wieder auf. Entscheidet man sich für den Rückstich, so braucht das wesentlich mehr Zeit. Nach jedem großen Vorwärtsstich dient ein kleiner Rückwärtsstich der Festigung. Das Ergebnis ist eine dauerhafte Verbindung, sofern die Fäden am Anfang und am Ende ausreichend gut vernäht sind.

#### **Literatur**

- AESCHLIMANN, U. (1999): *Mit Wagenschein zur Lehrkunst*; Dissertation für Erziehungswissenschaften an der Philipps-Universität Marburg/Lahn. <http://archiv.uni-marburg.de/diss/z2000/0391/pdf/z2000-0391.pdf> [Stand: 23. Dez. 2009]
- BALZER, M. (2004): Earliest Signs of Human-Controlled Fire Uncovered in Israel. In: *Science*, 304/5671, S. 663 – 665. <http://www.sciencemag.org/cgi/content/full/sci;304/5671/663a> [Stand: 23. Dez. 2009]
- BERGERHOFF, F. (1995): Anmerkungen zum Beitrag „Die Schwierigkeit der Oxidationstheorie“. In: *chimica didactica*, Jg. 21, H. 1, S. 42-56

- EILKS, I., RALLE, B., MÖLLERING, J. & LEERHOFF, G. (2004): *Rastertunnelmikroskopie im Chemieunterricht*. <http://www.chemie.uni-bremen.de/eilks/Material/stmwww/stm2.htm> [Stand: 23. Dez. 2009] zugehöriger Lernzirkel: <http://www.chemie-didaktik.uni-bremen.de/Material/teilchen.htm> [Stand: 23. Dez. 2009]
- EILKS, I. (2002a): Von der Rastertunnelmikroskopie zur Struktur des Wassermoleküls – Ein anderer Weg durch das Teilchenkonzept in der Sekundarstufe I (Teil 1). In: *Chemie und Schule* (Salzburg) Ausg. 3/02, S. 7-12
- EILKS, I. (2002b): Von der Rastertunnelmikroskopie zur Struktur des Wassermoleküls – Ein anderer Weg durch das Teilchenkonzept in der Sekundarstufe I (Teil 2). In: *Chemie und Schule* (Salzburg) Ausg. 4/02, S. 26-30
- FLINT, A. & ROSSOW, M. (2006): „*Chemie fürs Leben*“ am Beispiel Kerze, Oxi-Reiniger und Campinggas, Schriftreihe des Instituts Dr. Flad. Im www: [http://www.chemie.uni-rostock.de/didaktik/chemie\\_fürs\\_leben.asp](http://www.chemie.uni-rostock.de/didaktik/chemie_fürs_leben.asp) [Stand: 20. Okt. 2009]
- GRÄBER, W. & STORK, H. (1984): Die Entwicklungspsychologie Jean Piagets als Mahnerin und Helferin des Lehrers im naturwissenschaftlichen Unterricht. (Teil 1 und Teil 2). In: *MNU* Jg. 37, H.4, S. 193-201 bzw. H.5 S. 257-269
- HABELITZ-TKOTZ, W. (2003): *Demonstrationsversuch: Massenerhaltung bei der Verbrennung von Aktivkohle* (Boyle-Versuch). Im www: [http://www.evbg.de/de/ags/sinus/materialien/chemie/c09lv\\_massenerhaltung.pdf](http://www.evbg.de/de/ags/sinus/materialien/chemie/c09lv_massenerhaltung.pdf) [Stand: 23. Dez. 2009]
- HEIMANN, R. & HARSCH, G. (2006a): Von der Luft zu den "Lüften" (Teil 1). In: *MNU* Jg. 59, H. 7, S. 406-412
- HEIMANN, R. & HARSCH, G. (2006b): Von der Luft zu den "Lüften" (Teil 2). In: *MNU* Jg. 59, H. 8, S. 478-482,
- HELMERT, W. & SALINGER, A. (1999): *Die Kerze – eine Unterrichtseinheit im Anfangsunterricht Chemie (8. Klasse)*. Im www: <http://home.snafu.de/helmert/Kerze/index.htm> [Stand: 23. Dez. 2009]
- JOHANNSMEYER, F. (2003): Schülervorstellungen zum Boyle-Versuch. In: *ChemKon* Jg. 10, H. 2, S. 73-74.
- JOHNSTONE, A. H. (2000): Teaching of Chemistry – logical or psychological? In: *Chemistry Education Research and Practice in Europe*, Bdl. 1, H. 1, S. 9-15. Im www: [www: www.uoi.gr/cepr/2000\\_January/pdf/056johnstonef.pdf](http://www.uoi.gr/cepr/2000_January/pdf/056johnstonef.pdf) [Stand:23. Dez. 2009]
- SACHS, H. (2005): *Das Dreieck des Chemieunterrichts*. Im www: <http://www.nibis.de/~sts-hm/chemie/Zur%20Didaktik%20des%20Chemie-Unterrichts/Chemiedreieck.pdf> [Stand: 24. Nov. 2009]
- SAMMLUNG VON SCHÜLERVORSTELLUNGEN (Zitate): Im www: [http://www.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/s\\_didaktik/06\\_schuelervorstellungen.htm](http://www.uni-bayreuth.de/departments/didaktikchemie/s_didaktik/06_schuelervorstellungen.htm) [Stand: 5. Jun. 2007; inzwischen abgeschaltet]

- SCHMIDT, H.-J. (1981): *Fachdidaktische Grundlagen des Chemieunterrichts*, Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg
- SCHMIDT, S. & PARCHMANN, I. (2003): Von „erwünschten Verbrennungen und unerwünschten Folgen“. In: *MNU* Jg. 56, H. 4, S. 214-221
- SUMFLETH, E. & TODTENHAUPT, S. (1995): Redoxreaktionen aus der Sicht der Schüler. In: *chimica didactica* Jg. 21, H. 1, S. 20-41
- TEN VOORDE, Henk (1987): Die Überbrückung der Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Eine Aufgabe des Unterrichts. In: *chimica didactica*, Jg. 13, H. 2, S. 117-148
- VOGLHUBER, H. (2006): Wie brennt eine Kerze? Anfangsunterricht in der 4. und 7. Klasse eines Gymnasiums in Österreich. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, Jg. 17, H. 91, S. 30-35
- WAGENSCHNEIN, M. (1999): *Verstehen lehren* (9. Aufl.), Weinheim u. Basel: Beltz
- WAGNER, W. (2006), *Experimente für den Chemieunterricht: Verbrennen von Stahlwolle*. Im www: [http://www.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/experimente/04\\_stahlwolle.htm](http://www.uni-bayreuth.de/departments/ddchemie/experimente/04_stahlwolle.htm) [Stand 22. Mär. 2007]

weitere Quellen:

- Agnes-Pockels-SchülerInnen-Labor, TU Braunschweig <http://www.agnespockelslabor.de/download/luft/verbrennung-holz-eisen.pdf> [Stand: 23. Dez. 2009]
- CHIK: Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe I: (Un)erwünschte Verbrennungen [http://www.chik.de/dateien/UE\\_Verbrennungen.pdf](http://www.chik.de/dateien/UE_Verbrennungen.pdf) [Stand: 6. Jun. 2007]
- Lehrplan für Chemie der AHS-Unterstufe, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/780/ahs6.pdf> [Stand: 23. Dez. 2009]
- Lehrplan für Chemie der AHS-Oberstufe, [http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11861/lp\\_neu\\_ahs\\_09.pdf](http://www.bmukk.gv.at/medienpool/11861/lp_neu_ahs_09.pdf) [Stand: 23. Dez. 2009]
- Lehrplan für Physik AHS-Unterstufe, <http://www.bmukk.gv.at/medienpool/791/ahs16.pdf> [Stand: 23. Dez. 2009]
- Schmitz, R.-P. (2002-2007): *Chemie interaktiv „Der Lösungsvorgang von Kochsalz in Wasser“* (Interaktive Animationen): [http://www.chemie-interaktiv.net/flashfilme.htm#loesung\\_salz\\_wasser](http://www.chemie-interaktiv.net/flashfilme.htm#loesung_salz_wasser) [Stand: 23. Dez. 2009]

### **Anschrift der Verfasserin:**

Mag. Rosina Steininger, Universität Wien, Österreichisches Kompetenzzentrum für Didaktik der Chemie, Währinger Strasse 42, A-1090 Wien  
E-Mail: [rosina.steininger@univie.ac.at](mailto:rosina.steininger@univie.ac.at)