



## „Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren“ Inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Karin Petermann, Jens Friedrich und Marco Oetken

Der vorliegende Artikel stellt ein Unterrichtsverfahren vor, das von den Autoren bereits auf der Fortbildungs- und Vortragstagung der GDCh-Fachgruppe Chemieunterricht am 17.09.2007 in Ulm präsentiert und legitimiert wurde.

Im Schulunterricht wird bei der Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen Inhalten recht schnell klar, dass ein Verständnis von Schülern als *Tabula rasa* weit gefehlt ist, weil sie bereits zahlreiche Vorstellungen über naturwissenschaftliche Phänomene mit in den Unterricht bringen. Häufig lassen sich die Vorstellungen der Schüler jedoch nicht in Einklang mit den modernen naturwissenschaftlichen Denkweisen bringen, weshalb beim Erlernen von Naturwissenschaften tief greifende Lernschwierigkeiten auftreten. In diesem Beitrag wird ein Unterrichtsverfahren vorgestellt, in dem Schülervorstellungen eine besondere Berücksichtigung erfahren und gezielt thematisiert werden. Außerdem werden die methodisch-didaktische Konzeption sowie die unterrichtspraktische Umsetzung dieses Verfahrens exemplarisch an einer Unterrichtseinheit zum „Gesetz der Erhaltung der Masse“ illustriert. Auf der Grundlage der Ergebnisse einer empirischen Untersuchung zum Massenerhalt bei chemischen Reaktionen wird aufgezeigt, wie eine intensive inhaltliche Auseinandersetzung mit empirisch gefundenen Schülervorstellungen im Unterricht erfolgen kann.

**Stichworte:** Massenerhaltungsgesetz · Schülervorstellungen · Unterrichtsverfahren

### Einleitung

„Wenn wir die ganze Psychologie des Unterrichts auf ein einziges Prinzip reduzieren müssten, würden wir dies sagen: Der wichtigste Faktor, der das Lernen beeinflusst, ist das, was der Lernende bereits weiß. Dies ermitteln Sie, und danach unterrichten Sie Ihren Schüler.“ [1, S. 5]

Angesichts des enormen Einflusses des Vorwissens sowie der Vorstellungen der Schüler auf den Lernprozess, wurden seit Anfang der 1970er Jahre eine Vielzahl empirischer Studien zur Ermittlung von Schülervorstellungen durchgeführt [z.B. 2, 3]. In der Fachdidaktik besteht weitgehend Konsens, dass die Schülervorstellungen gezielt im Unterricht angesprochen und thematisiert werden sollten, um den Schülern erfolgreich eine naturwissenschaftliche Grundbildung vermitteln zu können. Eine Untersuchung von Guzzetti et al., in der verschiedene Lehrstrategien zur Herbeiführung eines „Conceptual change“ einer Meta-Analyse unterzogen wurden, belegt, dass sich eine Gegenüberstellung der aktuellen Vorstellungen mit naturwissenschaftlichen Vorstellungen als wirksam für das Initiieren eines Konzeptwechsels erweist [vgl. 4]. Wichtig ist dabei, dass Unzufriedenheit mit der gegenwärtigen Vorstellung erzeugt und das naturwissenschaftliche Konzept als verständlich, einleuchtend und anwendbar dargestellt wird.

Mit der Entwicklung eines an Schülervorstellungen orientierten Unterrichtsverfahrens wird die Zielsetzung verfolgt, durch eine intensive inhaltliche Auseinandersetzung mit diesen einen

Konzeptwechsel zu initiieren und den kontextgebundenen Übergang zu einer naturwissenschaftlich korrekten Vorstellung zu erreichen. Die Grundzüge dieses Unterrichtsverfahrens werden vorgestellt. An Hand der Skizze einer exemplarischen Unterrichtseinheit zum „Gesetz der Erhaltung der Masse am Beispiel des Boyle-Versuchs Variante Kohlenstoff“ werden abschließend die methodisch-didaktische Konzeption sowie die unterrichtspraktische Umsetzung dieses Verfahrens illustriert.

### Stand der Forschung und theoretische Grundlagen

Aufgrund redaktioneller Vorgaben werden die theoretischen Grundlagen, auf denen das Unterrichtsverfahren basiert sowie der Stand der Forschung zu Schülervorstellungen nur sehr knapp beschrieben, eine ausführliche Darstellung findet sich in der online-Version unter [www.chemkon.wiley-vch.de](http://www.chemkon.wiley-vch.de).

Unter dem Terminus „Schülervorstellungen“ werden ganz allgemein Vorstellungen bzw. Konzepte, die Schüler von naturwissenschaftlichen Phänomenen haben, verstanden [vgl. 5]. Die Ergebnisse der empirischen Forschung belegen, dass Schülervorstellungen häufig nicht den modernen naturwissenschaftlichen Denkweisen entsprechen, sondern ihnen konträr gegenüberstehen. Wenn im Folgenden von Schülerfehlvorstellungen bzw. generell von Fehlvorstellungen die Rede ist, so sind damit explizit jene Schülervorstellungen gemeint, die sich nicht in Einklang mit der naturwissenschaftlich korrekten Vorstellung bringen lassen.

Als mögliche Quellen der Vorstellungen, die Schüler mit in den naturwissenschaftlichen Unterricht bringen, sind vor allem Alltagserfahrungen, die Alltagssprache, in der naturwissenschaftliche Termini unpräzise oder gar falsch verwendet werden, die Prägung der eigenen Vorstellungen durch Vorstellungen des sozialen Umfeldes, aber auch der vorangegangene Unterricht zu benennen [vgl. 6].

Karin Petermann, Jahrgang 1980, studierte die Fächer Chemie, Biologie und Deutsch für das Lehramt an Realschulen an der PH Freiburg. Seit Ende 2006 promoviert sie im Arbeitskreis von Prof. Dr. Marco Oetken und Prof. Dr. Jens Friedrich zum Thema „Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren – Entwicklung, Erprobung und Evaluation von Unterrichtsbausteinen zum Abbau von Schülerfehlvorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht“.

Jens Friedrich, siehe **CHEMKON** 8/3 (2001) 148

Marco Oetken, siehe **CHEMKON** 14/3 (2007) 131

Anschriften: Karin Petermann, Prof. Dr. Jens Friedrich, Prof. Dr. Marco Oetken, Pädagogische Hochschule Freiburg, Abt. Chemie, Kunzenweg 21, 79117 Freiburg-Littenweiler

E-Mail: [peterman@ph-freiburg.de](mailto:peterman@ph-freiburg.de)  
[jens.friedrich@ph-freiburg.de](mailto:jens.friedrich@ph-freiburg.de)  
[marco.oetken@ph-freiburg.de](mailto:marco.oetken@ph-freiburg.de)

### Mitglieder des Kooperationsprojektes

PH Freiburg, Abt. Chemie: Prof. Dr. Marco Oetken, Prof. Dr. Jens Friedrich und Karin Petermann. Universität Münster, Institut für Didaktik der Chemie: Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Hans-Dieter Barke.

Trotz der zum Teil recht umfangreichen Ergebnisse empirischer Studien zur Ermittlung von Schülvorstellungen zu den wichtigsten naturwissenschaftlichen Themenbereichen und Prinzipien sowie einer Reihe von Konzeptionen zum Umgang mit Schülvorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht [vgl. 7-11] ist zu konstatieren, dass bislang nur wenige Lehrkräfte über Kenntnisse der in der Schülvorstellungsforschung gefundenen Ergebnisse verfügen. Zudem wissen nach Treagust et. al viele Lehrpersonen nicht, wie sie bei der Vermittlung des Lehrstoffs mit Fehlvorstellungen umgehen sollen [vgl. 12].

Aus diesem Grund zielt unser Forschungsvorhaben vor allem darauf ab, unter Nutzung empirisch gefundener Schülvorstellungen, auf der Basis des hier vorgestellten Verfahrens, Unterrichtseinheiten zu verschiedenen Themenbereichen auszuarbeiten. Das zentrale Anliegen besteht hierbei insbesondere in der Entwicklung von Arbeitsblättern, Modellen, Experimenten etc., die von den Lehrkräften eingesetzt werden können, um die Schülvorstellungen zu dem jeweiligen naturwissenschaftlichen Inhalt gezielt zu thematisieren.

Dem Unterrichtsverfahren ist ein Verständnis von Lernen zu Grunde gelegt, das Lernen als einen aktiv-konstruktiven Prozess, für den der Lernende in hohem Maße eigenverantwortlich ist, beschreibt [vgl. 13]. Daher werden für die Schüler Lernumgebungen geschaffen, in denen eigene Konstruktionsleistungen möglich sind und kontextgebunden gelernt werden kann. Außerdem werden im Rahmen dieser Konzeption bevorzugt Unterrichtsmethoden eingesetzt, die durch eine hohe Eigenaktivität der Schüler gekennzeichnet sind.

Innerhalb des Unterrichtsverfahrens wird ein diskontinuierlicher Lernweg beschritten, d.h. es wird eine grundlegende Revision der bestehenden Vorstellungen von Schülern angestrebt, sofern diese stark von der naturwissenschaftlichen Denkweise abweichen. Zentrales Anliegen des Unterrichtsverfahrens ist das Herbeiführen eines Konzeptwechsels, wobei wir im Rahmen unserer Konzeption unter „Wechsel“, in Anlehnung an die Definition von Duit, stets den kontextgebundenen Übergang zu dem Konzept, das diesem Kontext angemessen ist, verstehen [vgl. 7]. Durch eine intensive inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülvorstellungen soll den Schülern plausibel dargelegt werden, inwiefern sich diese, sowie möglicherweise auch ihre individuellen Vorstellungen, nicht mit der naturwissenschaftlich korrekten Vorstellung decken. Konzepte, die sich im Alltag durchaus bewährt haben können, sollen nicht ausgemerzt werden, sondern es wird in Anlehnung an die von Posner und Strike formulierten Bedingungen für einen Konzeptwechsel vielmehr aufgezeigt, dass naturwissenschaftliche Vorstellungen einen größeren Gültigkeitsumfang und eine größere Erklärungsmächtigkeit aufweisen [vgl. 14]. Die Schüler erkennen, dass ihre Alltagsvorstellungen zur Erklärung bestimmter naturwissenschaftlicher Phänomene nicht ausreichen und daher naturwissenschaftliche Vorstellungen, mit denen das Phänomen adäquat beschrieben werden kann, zu Rate gezogen werden müssen.

In der hier vorgestellten Konzeption nimmt der Einsatz von Konfliktstrategien einen großen Stellenwert ein. Insbesondere in der Phase der inhaltlichen Auseinandersetzung mit den Schülvorstellungen, die das Kernstück des Verfahrens

bildet, sollen bei den Schülern kognitive Konflikte ausgelöst werden. Dies kann vor allem durch Widerlegung der Fehlvorstellungen mit Hilfe verschiedener Argumentationsstrategien erfolgen.

Für die problemorientierte Erarbeitung des Unterrichtsgegenstandes sowie für die inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülvorstellungen wird das „Chemische Dreieck“ von Johnstone [15] als leitendes Prinzip zu Grunde gelegt. Nach Johnstone resultieren viele Fehlvorstellungen aus der Vermischung der makroskopischen, der submikroskopischen und der symbolischen Ebene. Während erfahrene Chemiker in der Lage seien, die drei Ebenen auseinander zu halten, stelle dies für die Lernenden i.d.R. eine Überforderung dar [vgl. 15]. Unter der Voraussetzung, dass für die Schüler transparent gemacht wird auf welcher Ebene man sich gerade befindet, erweist sich die Thematisierung eines naturwissenschaftlichen Inhalts auf allen drei Ebenen des chemischen Dreiecks als nutzbringend für die Verbesserung des Lernerfolgs.

Mahaffy ergänzte die drei Ebenen des chemischen Dreiecks zu einem Tetraeder und fügte das „human element“ hinzu, welches man als „lebensweltliche Komponente“ übersetzen könnte [vgl. 16]. Die zusätzliche Einbeziehung der „lebensweltlichen Komponente“ soll eine stärkere Anbindung des Unterrichtsgegenstands an die Lebenswelt der Schüler gewährleisten; in dem hier skizzierten Unterrichtsverfahren sollen daher möglichst alle vier Ebenen des chemischen Tetraeders zum Tragen kommen.

Anzumerken gilt, dass das hier vorgestellte Unterrichtsverfahren natürlich kein durchgängiges Prinzip der Unterrichtsgestaltung darstellen soll. Ebenso wie für jedes andere Unterrichtsverfahren gilt auch für diesen Ansatz, dass Methodenvielfalt die wichtigste „Basismethode“ für die Unterrichtsgestaltung darstellt.

Grundsätzlich muss bedacht werden, dass bei Schülern existierende Fehlvorstellungen nicht durch das einmalige Herbeiführen von kognitiven Konflikten abgebaut werden können. Lernprozesse werden heute als eine parallele Entwicklung kognitiver Schichten über mehr oder weniger stabile koexistierende Zwischenvorstellungen, die sich in ihrer jeweiligen Stärke oder ihrem Status unterscheiden, beschrieben [vgl. 17]. Insofern sollte – unabhängig von dem hier vorgestellten Unterrichtsverfahren – die Lehrkraft immer die Vorstellungen der Schüler in den Blick nehmen und in geeigneter Weise bei der Unterrichtsdurchführung berücksichtigen, um daran anknüpfend die Erklärungsmächtigkeit der naturwissenschaftlichen Vorstellung an unterschiedlichen Beispielen zu verdeutlichen.

Auf Grund der Vielzahl und der „Hartnäckigkeit“ von Fehlvorstellungen hinsichtlich der Basiskonzepte des Chemieunterrichts [vgl. 18] erscheint es jedoch sinnvoll, bestimmte Phasen des Unterrichts explizit für eine inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülvorstellungen und deren Widerlegung durch geeignete Argumentationsstrategien zu reservieren.

Im Folgenden werden nun die einzelnen Phasen sowie ihre zu Grunde liegende methodisch-didaktische Konzeption exemplarisch an einer Unterrichtseinheit zum „Gesetz der Erhaltung der Masse am Beispiel des Boyle-Versuchs *Variante Kohlenstoff*“ erläutert und illustriert.

### Vorstellung der methodisch-didaktischen Konzeption des Unterrichtsverfahrens am Beispiel einer Unterrichtseinheit zum „Gesetz der Erhaltung der Masse“

Das „Gesetz der Erhaltung der Masse“ stellt ein wichtiges Basiskonzept der Chemie dar und spielt bei der Vermittlung der Kriterien einer chemischen Reaktion eine wichtige Rolle im Anfangsunterricht [vgl. z.B. 19, 20]. Empirische Studien, beispielsweise von Johannsmeyer et al. [21] und Heimann et al. [22], belegen allerdings, dass ein Teil der Schüler der Klassen 8 bis 13 das Massenerhaltungsgesetz - trotz Thematisierung im Chemieunterricht - nicht oder nur unzureichend auf die Verbrennung von Kohlenstoff in einem geschlossenen System anwenden können. Außerdem zeigen diese Untersuchungen sowie eine Studie von Sumfleth [23], dass bei Schülern häufig Fehlvorstellungen hinsichtlich der Verbrennung von Kohlenstoff zu finden sind.

Auf der Basis der Ergebnisse der Studie von Johannsmeyer et al. [21] wurde eine Unterrichtseinheit entwickelt, in der eine intensive inhaltliche Auseinandersetzung mit den empirisch gefundenen Schülerfehlvorstellungen erfolgt. Die methodische Durchführung sowie Ergebnisse dieser Untersuchung werden im Folgenden vorgestellt.

#### Schülervorstellungen zum Boyle-Versuch

Zur Erhebung der Schülervorstellungen wurde in der Studie ein Fragebogen eingesetzt (siehe Abb. 1).

Allgemein ist festzustellen, dass in den höheren Jahrgangsstufen, wie erwartet, zunehmend mehr Schüler in der Lage waren, die Aufgabe korrekt zu lösen und weniger Fehlvorstellungen bezüglich der ablaufenden chemischen Reaktion sowie deren Deutung auftraten. Dennoch äußerten auch Schüler der Sekundarstufe II immer noch relativ viele Fehlvorstellungen, was sich in dem hohen Anteil falscher Antworten (rund 20%) widerspiegelt.

Diejenigen Schülerantworten, die sich auf einen Massenerhalt beziehen, unterscheiden sich vor allem darin, welche Stoffe von den Schülern in ihrer Argumentation berücksichtigt wurden. Ein sehr hoher Anteil der Schüler der Jahrgangsstufen 8 (53%) und 9 (28%) führten in ihrer Begründung für die Massenkonstanz lediglich die Erhaltung des Kohlenstoffs an, während sie in ihren Ausführungen den Sauerstoff unberücksichtigt ließen. Häufig wurde von den Schülern die Ansicht vertreten, dass der Kohlenstoff weiterhin materiell existiere, aber irgendwie in den gasförmigen Zustand übertrete. Dieser Sachverhalt wurde von den Schülern oft mit den Termini „Luft“, „Rauch“ und „Dampf“ umschrieben. Mit zunehmender Klassenstufe stieg der Anteil der Schüler, die in ihre Überlegungen sowohl den Kohlenstoff als auch den Sauerstoff mit einbezogen. Vor allem in den Jahrgangsstufen 10 und 12/13 gaben sehr viele Schüler (23% in der Jahrgangsstufe 10 und 29% in der Jahrgangsstufe 12/13) an, dass der Kohlenstoff sich mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid verbinde.

Weiterhin führten viele Schüler als Begründung für eine Massenkonstanz an, dass der gesamte Inhalt des Kolbens erhalten bleibe. Manche Schüler, vornehmlich in den höheren Jahrgangsstufen, erwähnten in ihrer Stellungnahme auch den Aspekt, dass die Atome bei einer chemischen Reaktion erhalten

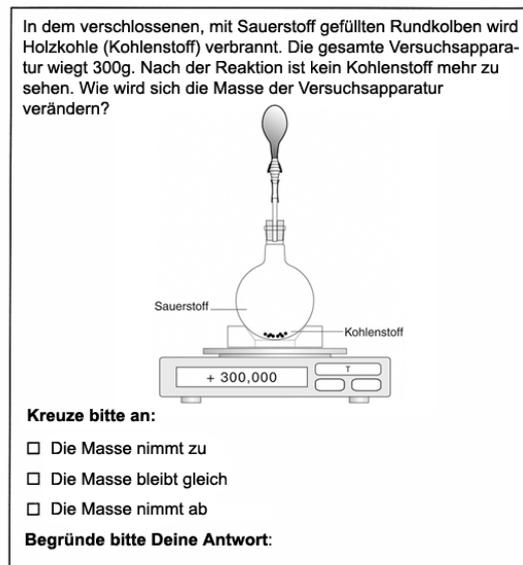


Abb. 1: Fragebogen zur Erhebung von Schülervorstellungen zum Boyle-Versuch [21, S. 73]

bleiben. Am häufigsten (32%) äußerten die Befragten jedoch die Begründung „Der Massenerhalt (Gesetz von der Erhaltung der Masse) ist Kennzeichen einer chemischen Reaktion“ ohne diese allerdings näher auszuführen.

Auf Grund der Reaktionsbedingungen beim Boyle-Versuch Variante Kohlenstoff lag intuitiv die Vermutung nahe, dass die falschen Schülerantworten verstärkt in die Kategorie Massenabnahme fallen würden. In der Tat entschied sich ein weit größerer Anteil der Schüler, die eine der beiden falschen Antwortmöglichkeiten wählten, für eine Abnahme der Masse: Während 6% die Ansicht vertraten, die Masse nehme zu, sprachen sich 29% der Schüler für eine Abnahme der Masse aus.

Die häufigste Begründung für eine Abnahme der Masse, die in 47% der Schülerantworten dieser Kategorie zu finden war, lautete „Es entstehen Gase, die leichter als der Feststoff Kohlenstoff sind“. Hinter diesen Äußerungen verbirgt sich die Vorstellung, dass Gase prinzipiell leichter sind als Feststoffe oder gar, dass Gase nichts wiegen. Diese Vorstellung basiert auf Alltagserfahrungen, bei denen Gase als sehr „leicht“ bzw. als „gewichtslos“ wahrgenommen werden. Erschwerend kommt hinzu, dass Gase häufig optisch nicht wahrnehmbar sind.

Von 11% der Schüler, die für eine Abnahme der Masse stimmten, wurde die Ansicht vertreten, dass der Kohlenstoff verschwinde und daher die Masse abnehme. Diese Begründung spiegelt eine weit verbreitete Alltagsvorstellung wider, da Verbrennungsreaktionen im täglichen Leben häufig als irreversible Vernichtung von Stoffen interpretiert werden. Hinzu kommt, dass das Vernichtungskonzept im Falle des Boyle-Versuchs zudem mit der Beobachtung auf phänomenologischer Ebene übereinstimmt, da der Kohlenstoff nach Versuchsende nicht mehr zu sehen ist. Diese Vorstellung hat sich außerdem in Alltagssituationen durchaus bewährt; Beispiele wären das Abbrennen einer Kerze oder das Nachlegen von Holz am Lagerfeuer.

Ein weiteres sehr gängiges Alltagskonzept, das ebenfalls in den Begründungen einiger Schüler auftaucht, ist der Verbrauch von Sauerstoff bei der Verbrennung. Vielfach wissen die Schüler, dass Sauerstoff für die Verbrennung benötigt wird, sehen diesen Stoff aber nicht als Reaktionspartner an. Somit wird der Verbrennungsprozess von den Schülern häufig nicht als eine chemische Reaktion mit Sauerstoff wahrgenommen.

Insgesamt vertraten, wie bereits erwähnt, gerade einmal 6% der Schüler die Ansicht, dass die Masse zunimmt. Ein Großteil der Schüler, die sich für eine Zunahme der Masse aussprachen, begründete ihre Entscheidung damit, dass das entstehende Gas schwerer sei als Sauerstoff. In diesem Fall wurden von den Schülern also nur die Massen der beiden an der chemischen Reaktion beteiligten Gase (Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid) miteinander verglichen, während sie die Masse des Kohlenstoffs in ihrer Argumentation vollkommen vernachlässigten.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei Schülern ein breites Spektrum an Fehlvorstellungen hinsichtlich des Massenerhaltungsgesetzes sowie der Verbrennung von Kohlenstoff zu finden ist. Im Rahmen der Untersuchung zeigte sich, dass die ermittelten Fehlvorstellungen häufig gängige Alltagskonzepte widerspiegeln, Konzepte also, die sich im Alltag als tragfähig und plausibel erweisen. Auffallend ist, dass sich die Schüler in ihren Argumentationen fast ausschließlich auf die makroskopische Ebene beziehen, obwohl insbesondere bei den Schülern höherer Klassenstufen, bei denen eine bereits weit ausdifferenzierte Vorstellung der Diskontinuumsebene angenommen werden darf, eine Einbeziehung der submikroskopischen Ebene zu erwarten gewesen wäre. Offensichtlich gelingt also eine Verinnerlichung des für die Chemie so zentralen Wechselspiels der makroskopischen, submikroskopischen und symbolischen Ebene häufig nicht in gewünschtem Maße.

### Phase der Unterrichtsvorbereitung

Bei Anwendung des Unterrichtsverfahrens bilden die Schülervorstellungen das strukturierende Prinzip des Unterrichts. Aus diesem Grund sollte die Lehrkraft in der Planungsphase einer Unterrichtseinheit gezielt Arbeitsblätter sowie Materialien entwickeln, die sich inhaltlich an den zur jeweiligen Thematik empirisch gefundenen Schülervorstellungen orientieren.

Zur Ermittlung der Schülervorstellungen der Lerngruppe könnte in dieser Phase auch ein „Diagnose-Test“ eingesetzt werden. Dadurch kann die Lehrkraft im Unterricht stärker auf die individuellen Vorstellungen der Schüler eingehen. Beispielsweise wurden in England im Rahmen des „teacher fellowship projects 2000-2001“ auf der Grundlage empirischer Forschungsergebnisse Diagnose-Tests zu verschiedenen Themenbereichen entwickelt, die die Lehrkräfte im Unterricht einsetzen können, um die Vorstellungen ihrer Schüler zu identifizieren [vgl. 24].

### Phase der Hypothesenbildung und Problemgewinnung

Zu Beginn der Unterrichtsstunde erfolgt eine Vorstellung des Boyle-Versuchs Variante Kohlenstoff sowie eine Beschreibung der Versuchsbeobachtungen. Bevor der Boyle-Versuch durchgeführt wird, wird die gesamte Versuchsanordnung gewogen und das Messergebnis schriftlich festgehalten. Im Anschluss daran sollen die Schüler Stellung nehmen, welches Messergeb-

nis sie nach der Versuchsdurchführung bei der erneuten Wägung der Apparatur erwarten. Ausgehend von den Schülerantworten kann sich der Lehrer ein Bild über die Schülervorstellungen der Lerngruppe machen. Falls nur sehr wenige Schüler ihre Vorstellungen äußern oder nicht alle zentralen Kategorien von Vorstellungen dieser Thematik abgedeckt werden, können empirisch gefundene Schülervorstellungen durch den Lehrer ergänzt und zur Diskussion gestellt werden. Insbesondere für leistungsschwächere Schüler kann es von Vorteil sein, dass die Vorstellungen anderer Schüler in die Diskussion eingebracht werden, weil sie sich möglicherweise nicht trauen, ihre eigene Vorstellung Preis zu geben. Bei Planung dieser Unterrichtseinheit wurden exemplarisch folgende Schüleraussagen für die sechs meist genannten Antwortkategorien, die in der empirischen Untersuchung ermittelt wurden, ausgewählt. Auf deren Basis wurden die Arbeitsmaterialien konzipiert:

„Die Masse nimmt zu, weil Kohlenstoff mit dem Sauerstoff reagiert. Es entsteht Kohlenstoffdioxid und das ist schwerer als Sauerstoff.“

Schüler, Klasse 9

„Da der Kohlenstoff verbrannt wird, nimmt die Masse ab. Der Kohlenstoff wiegt ja etwas und wenn kein Kohlenstoff mehr da ist, kann das auch nichts mehr wiegen. Also wird die Apparatur leichter.“

Schüler, Klasse 11

„Die Masse nimmt ab, weil der Kohlenstoff beim Verbrennen Sauerstoff verbraucht“

Schüler, Klasse 8

„Die Masse nimmt ab, weil gasförmige Stoffe leichter sind als feste Stoffe.“

Schüler, Klasse 8

„Ich denke, die Masse nimmt ab, weil nach der Reaktion kein Kohlenstoff mehr vorhanden ist. C und O haben miteinander reagiert und es ist ein Gas entstanden, das eigentlich nichts wiegen dürfte.“

Schülerin, LK 12

„Die Masse bleibt gleich, da der Kohlenstoff zwar verbrannt ist, aber immer noch existiert. Der Kohlenstoff ist ja nicht verschwunden er ist nur verdampft, das heißt er ist nun nicht mehr sichtbar. Also bleibt die Masse gleich.“

Schülerin, Klasse 8

Nach der Sammlung von Schüleräußerungen werden alle Schülervorstellungen, die in dieser Phase vorgetragen wurden, von der Lerngruppe in den Blick genommen. In einer offenen Diskussion sollen sich die Schüler zu den Vorstellungen äußern und dabei erkennen, dass es zu ein- und derselben Thematik sehr unterschiedliche Vorstellungen geben kann. Dadurch wird erreicht, dass die Schüler ihre eigene Vorstellung hinterfragen und Neugier auf den Ausgang des Experiments sowie die naturwissenschaftlich korrekte Denkweise geweckt wird.

Je nach Unterrichtsgegenstand kann es erforderlich sein, das Unterrichtsverfahren geringfügig zu modifizieren und die Phase der Hypothesenbildung und Problemgewinnung möglicherweise entfallen zu lassen. Nach von Glaserfeld kann

„[...] das denkende Subjekt sein Wissen nur auf der Grundlage eigener Erfahrungen konstruieren“ [25, S. 22]. Aus diesem Grund sind bei Schülern also nur dann individuelle Vorstellungen zu einer bestimmten Thematik anzutreffen, wenn sie diesbezüglich bereits Erfahrungen bzw. Vorkenntnisse besitzen. Bei der Einführung eines für die Schüler gänzlich unbekanntes fachwissenschaftlichen Inhaltes, werden sich dementsprechend erst im Laufe des Unterrichts individuelle Vorstellungen entwickeln. Daher würde die Phase der Begegnung mit den Schülervorstellungen in diesem Fall entfallen und im Unterricht erst bei der fachlichen Klärung des Unterrichtsgegenstandes begonnen werden. Im Falle des Boyle-Versuchs darf allerdings davon ausgegangen werden, dass die Schüler bereits über Vorkenntnisse verfügen, weil ihnen verschiedene Verbrennungsreaktionen aus dem Alltag geläufig sein müssten.

### Phase der fachlichen Klärung des Unterrichtsgegenstandes

Zunächst demonstriert der Lehrer in dieser Phase den Boyle-Versuch [vgl. 26]. Für die Schüler birgt insbesondere das helle Aufleuchten der Kohle eine gewisse Faszination. Nach der Demonstration des Versuches wird die Apparatur erneut gewogen und das Messergebnis wird mit dem vor der Versuchsdurchführung verglichen. Dabei stellen die Schüler fest, dass die Masse der Versuchsapparatur gleich geblieben ist. Zum Nachweis des bei der Reaktion entstandenen Kohlenstoffdioxids kann die Kalkwasserprobe durchgeführt werden. Im nächsten Schritt erfolgen darauf aufbauend die fachliche Klärung des Boyle-Versuchs sowie die problemorientierte Erarbeitung des Gesetzes der Erhaltung der Masse. Zentrales Anliegen ist hierbei eine Einbeziehung aller vier Ebenen des chemischen Tetraeders, wodurch ein vertieftes Verständnis des Massenerhaltungsgesetzes erreicht werden soll. Abb. 2 veranschaulicht, wie die Verbrennung von Kohlenstoff auf allen vier Ebenen des chemischen Tetraeders thematisiert werden kann.

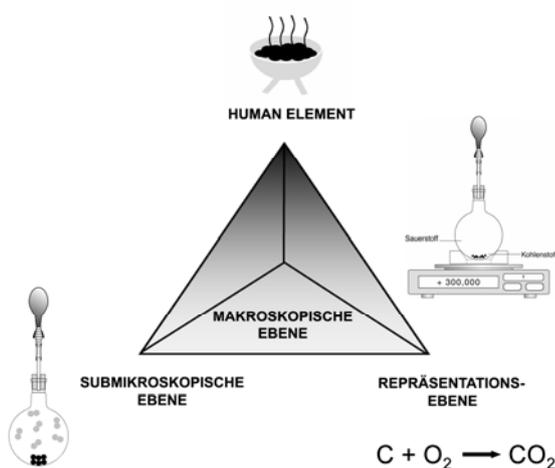


Abb. 2: Die Verbrennung von Kohlenstoff auf allen vier Ebenen des chemischen Tetraeders

Auf der makroskopischen Ebene ist die beobachtbare chemische Reaktion beim Boyle-Versuch mit Kohlenstoff angesiedelt. Diese Versuchsvorteil bietet den Vorteil, dass sie sehr stark an die Erfahrungswelt der Schüler anknüpft, weil die

Verbrennung von Kohlenstoff bzw. Holzkohle den Schülern durch das Grillen bereits bekannt ist, wodurch die lebensweltliche Komponente angesprochen werden kann. Im Gegensatz zum Grillen findet diese Verbrennungsreaktion beim Boyle-Versuch jedoch in einem geschlossenen System statt. Somit wird die den Schülern bereits bekannte Verbrennung von Kohlenstoff in einem neuen Kontext präsentiert. Die ablaufende chemische Reaktion kann auf der Repräsentationsebene durch chemische Symbole beschrieben werden. Mit Hilfe des Dalton'schen Atommodells kann diese den Schülern zudem auf der modellhaften Ebene veranschaulicht werden, wodurch die submikroskopische Ebene in den Blick genommen werden kann. An Hand dieses Modells kann den Schülern auch aufgezeigt werden, dass Atome bei einer chemischen Reaktion weder verloren gehen noch zerstört werden, sondern dass bei dieser Reaktion Bindungen der Atome gelöst und neue Bindungen ausgebildet werden. Gleichzeitig kann den Schülern dadurch plausibel dargelegt werden, dass sich die Anzahl der Atome bei einer chemischen Reaktion in einem geschlossenen System nicht ändert und somit das Massenerhaltungsgesetz gilt.

In der Phase der fachlichen Klärung des Unterrichtsgegenstandes wird den Schülern aufgezeigt, dass die naturwissenschaftliche Vorstellung in diesem Kontext eine adäquatere und weitreichendere Erklärung liefert. Hierdurch wird Unzufriedenheit mit der möglicherweise falschen individuellen Vorstellung erzeugt.

### Erarbeitungsphase und Phase der Festigung und Wissenssicherung

Diese Phase bildet das Kernstück des Unterrichtsverfahrens. Nachdem in der Phase der fachlichen Klärung die naturwissenschaftliche korrekte Vorstellung problemorientiert erarbeitet wurde, sollen eine inhaltliche Auseinandersetzung mit den empirisch gefundenen Schülerfehlvorstellungen sowie deren argumentative Widerlegung mit Hilfe geeigneter Strategien erfolgen. Hierfür wurden, wie bereits erwähnt, exemplarisch Schülerfehlvorstellungen für die sechs meist genannten Kategorien ausgewählt. Bei der argumentativen Widerlegung der Schülerfehlvorstellungen setzen sich die Schüler zugleich auch mit ihren individuellen Vorstellungen auseinander und finden möglicherweise selbst heraus, ob ihre eigene Vorstellung auch einen „Denkfehler“ beinhaltet bzw. worin dieser bestand. Unter „Denkfehler“ werden diejenigen Aspekte einer Vorstellung verstanden, die in Widerspruch zu der naturwissenschaftlich korrekten Vorstellung stehen.

Zunächst sollen die Schüler herausarbeiten, inwiefern zwischen der vorgegebenen Schülerfehlvorstellung und der naturwissenschaftlichen Vorstellung Inkonsistenzen bestehen. An dem von den Schülern identifizierten „Denkfehler“ soll die inhaltliche Widerlegung der Vorstellung ansetzen. Die Argumentationsstrategie, die zur Entkräftung der Fehlvorstellungen genutzt wird, kann, wie der Aufgabenstellung in der schematischen Darstellung des Unterrichtsverfahrens (s. Abb. 3, S. 118) zu entnehmen ist, entweder auf der experimentellen, der modellhaften oder auf der kognitiven Ebene angesiedelt sein. Alle drei Argumentationsstrategien stehen innerhalb des Unterrichtsverfahrens grundsätzlich gleichberechtigt nebeneinander; die

Wahl der Argumentationsstrategie hängt in der Regel von den jeweiligen Schülerfehlvorstellungen ab. An folgenden Beispielen wird exemplarisch veranschaulicht, wie häufig gefundene Schülerfehlvorstellungen mit Hilfe von Experimenten oder durch die Nutzung von Modellen entkräftet werden könnten:

**1. Beispiel Schülerfehlvorstellung:** „Die Masse nimmt zu, weil Kohlenstoff mit dem Sauerstoff reagiert. Es entsteht Kohlenstoffdioxid und das ist schwerer als Sauerstoff.“

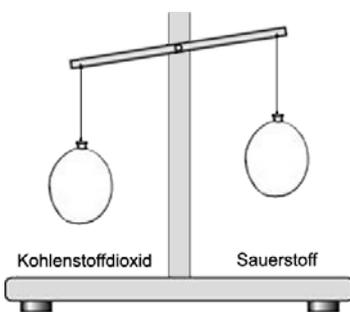
Schüler, Kl. 9

#### Zu Grunde liegender Denkfehler:

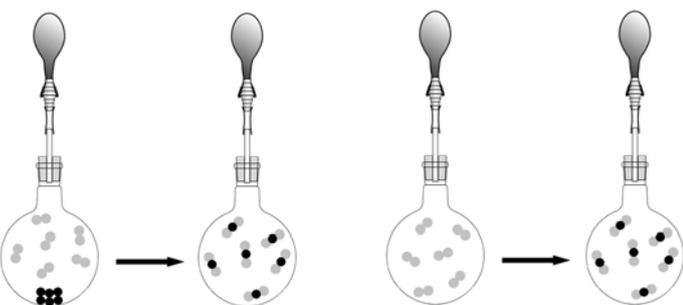
Der Schüler berücksichtigt in seiner Argumentation lediglich die Massen der beiden Gase Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid; die Masse des Eduktes Kohlenstoff wurde außer Acht gelassen.

#### Widerlegung der Schülerfehlvorstellung mit Hilfe eines Experiments sowie durch Nutzung eines Modells:

Es liegt in diesem Fall nahe, zunächst ein Experiment durchzuführen, mit dem man prüfen kann, ob Sauerstoff tatsächlich schwerer ist als Kohlenstoffdioxid. Hierzu werden an einer Balkenwaage die Massen eines mit Kohlenstoffdioxid bzw. mit Sauerstoff gefüllten Luftballons gleichen Volumens (z.B. 3 Liter) verglichen. Das exakte Befüllen gelingt beispielsweise mit einer Aquariumpumpe, die über ein Ein- und Auslassventil (z.B. von Rena Air) verfügt. Eine genauere, aber weniger schülerernahe Variante zur Massenbestimmung von Gasen wäre der Einsatz von Gaswägekugeln.



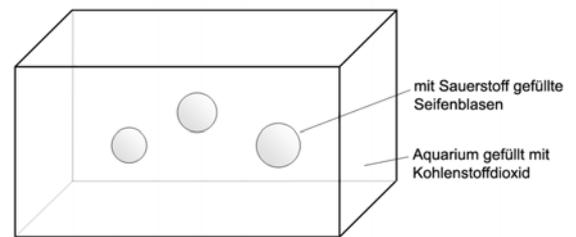
Mit diesem Versuch wird die Aussage des Schülers zunächst sogar bestätigt. Hier setzt nun aber die modellhafte Widerlegung an. Ausgehend von dem Versuch sollen die Schüler Überlegungen anstellen, wie man den Denkfehler in der vorliegenden Schülerfehlvorstellung auf Teilchenebene veranschaulichen könnte und wie man an Hand dieser Darstellung erklären könnte, worin der Denkfehler bestand.



Korrekte Darstellung der ablaufenden chemischen Reaktion auf der Teilchenebene

Visualisierung der Fehlvorstellung auf der submikroskopischen Ebene

Ein weiteres Experiment, mit dem man eindrucksvoll zeigen kann, dass Kohlenstoffdioxid eine größere Masse als Sauerstoff besitzt, wäre der „Seifenblasen-Versuch“: Ein Kunststoff-Aquarium wird mit Kohlenstoffdioxid gefüllt. Anschließend werden vorsichtig mit Sauerstoff gefüllte Seifenblasen in das Behältnis geblasen. Da die sauerstoffgefüllten Seifenblasen leichter sind als Kohlenstoffdioxid, sinken die Seifenblasen nicht zu Boden und zerplatzen, sondern schweben auf der „Kohlenstoffdioxid-Schicht“.



**2. Beispiel Schülerfehlvorstellung:** „Die Masse nimmt ab, weil gasförmige Stoffe leichter sind als feste Stoffe.“

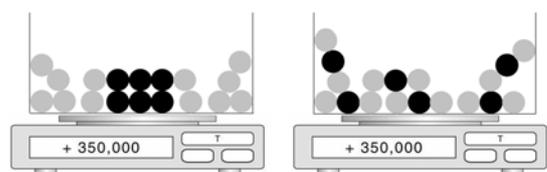
Schüler, Klasse 8

#### Zu Grunde liegender Denkfehler:

Der Schüler denkt, dass das entstehende Reaktionsprodukt (Kohlenstoffdioxid) leichter ist als Kohlenstoff, weil gasförmige Stoffe seiner Ansicht nach prinzipiell leichter sind als feste Stoffe.

#### Widerlegung der Schülerfehlvorstellung durch Nutzung eines Modells:

Zur Widerlegung dieser Schülerfehlvorstellung könnten die Schüler zunächst mit Hilfe von Styroporkugeln (rot = Sauerstoffatome bzw. schwarz = Kohlenstoffatome) die ablaufende chemische Reaktion auf Teilchenebene nachstellen. Durch Wägung des Modells lässt sich zudem veranschaulichen, dass die Masse vor und nach der Reaktion gleich bleibt.



**3. Beispiel Schülerfehlvorstellung:** „Ich denke, die Masse nimmt ab, weil nach der Reaktion kein Kohlenstoff mehr vorhanden ist. C und O haben miteinander reagiert und es ist ein Gas entstanden, das eigentlich nichts wiegen dürfte.“

Schülerin, LK 12

#### Zu Grunde liegender Denkfehler:

Die Schülerin ist der Ansicht, dass Gase keine Masse besitzen.

#### Widerlegung der Schülerfehlvorstellung mit Hilfe eines Experiments:

Mit Hilfe eines einfachen Versuchs lässt sich zeigen, dass Gase - entgegen der Vorstellung der Schülerin - eine Masse besitzen. Dazu wird eine Gaswägekugel (z.B. 500 mL oder 1 L)

zum Beispiel mit Kohlenstoffdioxid befüllt und auf einer Laborwaage gewogen. Anschließend entnimmt man der Gaswägung mit einem Kolbenprober ca. 100 mL Gas und wiegt erneut. Bei der zweiten Wägung hat die Masse abgenommen: Das entnommene Gas muss also eine Masse besitzen. Durch die Kalkwasserprobe könnte man in diesem Fall nachweisen, dass sich im Kolbenprober tatsächlich Kohlenstoffdioxid befindet.

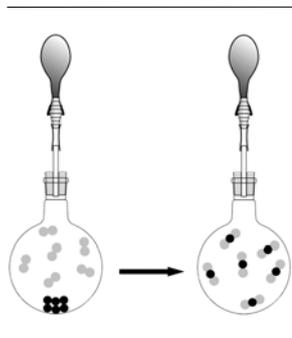
**4. Beispiel Schülerfehlvorstellung:** „Die Masse nimmt ab, weil der Kohlenstoff beim Verbrennen Sauerstoff verbraucht.“

Schüler, Klasse 8

#### Denkfehler:

Der Schüler geht davon aus, dass bei der Verbrennung von Kohlenstoff Sauerstoff „verbraucht“ wird, weshalb nach der Reaktion seiner Ansicht nach kein Sauerstoff mehr vorhanden ist.

#### Widerlegung der Schülerfehlvorstellung durch ein Modell:



Die Schüler könnten sich überlegen, wie man die ablaufende chemische Reaktion auf der Teilchenebene korrekt darstellen könnte. Im Wechselspiel zwischen der makroskopischen und submikroskopischen Ebene müsste anschließend herausgearbeitet werden, worin der Denkfehler der Schülerfehlvorstellung liegt.

**5. Beispiel Schülerfehlvorstellung:** „Da der Kohlenstoff verbrannt wird, nimmt die Masse ab. Der Kohlenstoff wiegt ja etwas und wenn kein Kohlenstoff mehr da ist, kann das auch nichts mehr wiegen. Also wird die Apparatur leichter.“

Schüler, Klasse 11

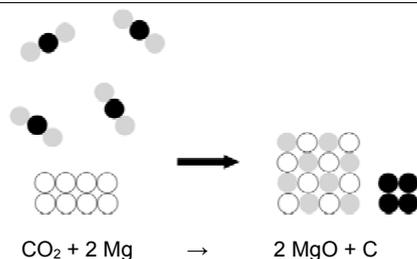
#### Zu Grunde liegender Denkfehler:

Der Schüler setzt die ablaufende Verbrennungsreaktion mit einer irreversiblen Vernichtung der Kohlenstoffatome gleich.

#### Widerlegung der Schülerfehlvorstellung mit Hilfe eines Experiments:

In diesem Fall könnte ein Versuch durchgeführt werden, bei dem sich die verschwunden geglaubten Kohlenstoffatome in Form von Kohlenstoff wiedergewinnen lassen. Hierzu eignet sich die bekannte Redoxreaktion zwischen Kohlenstoffdioxid und Magnesium.

Zusätzlich könnte die bei dem Versuch ablaufende chemische Reaktion auf der modellhaften Ebene visualisiert werden:



Bei einer quantitativen Durchführung des Experiments konnten Flint et. al jedoch zeigen, dass - entgegen der verbreiteten Darstellung in Schul- und Experimentierbüchern - nur etwa 50% des Magnesiums und des Kohlenstoffdioxids zu Magnesiumoxid und Kohlenstoff reagieren [vgl. 27]. Etwa 25% der Edukte reagieren zu Kohlenstoffmonoxid und Magnesiumoxid, der verbleibende Rest reagiert zu Magnesiumcarbiden. Aus diesem Grund sollten die Lehrenden gründlich abwägen, ob sie diesen Versuch, bei dem nur 50% des Umsatzes korrekt durch die angegebene Reaktionsgleichung beschrieben werden können, dennoch einsetzen möchten. Eine Alternative zu dem gerade beschriebenen Experiment wären Versuche zur Verkohlung verschiedener Photosynthese-Produkte wie z.B. Holz, Stärke oder Zucker durch Einwirkung von Schwefelsäure bzw. durch Erhitzen. So lässt sich also auch hier aus Kohlenstoffdioxid, welches bei der Photosynthese in den Photosyntheseprodukten fixiert wurde, Kohlenstoff zurückgewinnen.

Die Zielsetzung der argumentativen Widerlegung der Schülerfehlvorstellungen besteht darin, der Lerngruppe zu verdeutlichen, worin der Denkfehler in den jeweiligen Fehlvorstellungen liegt und weshalb diese nicht mit der naturwissenschaftlichen Vorstellung vereinbar sind. Außerdem soll bei den Schülern ein kognitiver Konflikt ausgelöst werden, da ihnen Experimente und Modelle präsentiert werden, die zum Teil in Widerspruch zu ihrer bisherigen Vorstellung stehen. Wünschenswert wäre, dass dadurch alte (Fehl-) Vorstellungen verworfen werden und ein Konzeptwechsel, d.h. ein kontextgebundener Übergang zu der naturwissenschaftlichen Vorstellung, erreicht werden kann.

#### Phase der Anwendung und des Transfers

In dieser Phase soll die (neue) naturwissenschaftliche Vorstellung in neuen Kontexten angewendet und ein Transfer vollzogen werden. Es empfiehlt sich in dieser Phase weitere Verbrennungsreaktionen zu thematisieren, die in offenen bzw. geschlossenen Systemen stattfinden und diese gegebenenfalls auch zu demonstrieren. In diesem Zusammenhang sollte gemeinsam mit den Schülern problemorientiert erarbeitet werden, worin Unterschiede zwischen Reaktionen in offenen bzw. geschlossenen Systemen bestehen. Mögliche Beispiele für Verbrennungsreaktionen in einem geschlossenen System wären die Verbrennung von Schwefel oder Eisenwolle.

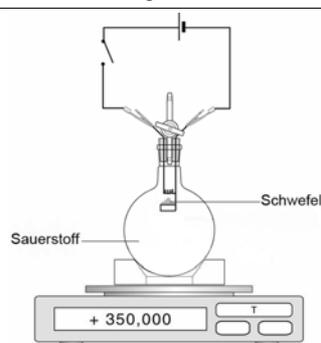


Abb. 4: Verbrennung von Schwefel durch elektrische Fernzündung unter Einsatz einer Heizwendel

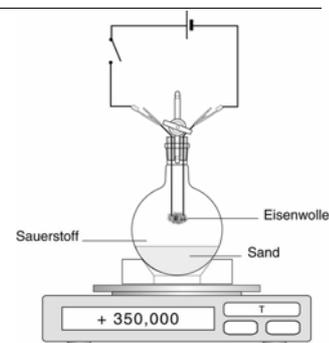


Abb. 5: Verbrennung von Eisenwolle durch elektrische Zündung

Bei der Thematisierung von chemischen Reaktionen in offenen Systemen sollte auch der Aspekt angesprochen werden, dass die Masse bei chemischen Reaktionen in offenen Systemen nach der Reaktion sowohl ab- als auch zugenommen haben kann. Mögliche Beispiele wären hier der Balkenwaagenversuch mit Eisenwolle oder das Brennen einer Kerze.



Abb. 6: Balkenwaagenversuch mit Eisenwolle

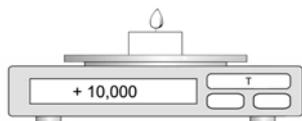


Abb. 7: Brennen einer Kerze

Zentrales Lernziel dieser Phase ist, dass die Schüler lernen, das Gesetz der Erhaltung der Masse auf neue Experimente anzuwenden und erkennen, dass es bei Reaktionen in offenen Systemen nicht ohne Weiteres experimentell erfassbar ist. Nach Posner und Strike soll bei der Anwendung der (neuen) naturwissenschaftlichen Vorstellung deren Erklärungsmächtigkeit aufgezeigt werden, wodurch bei den Schülern Zufriedenheit mit dieser geschaffen werden soll [vgl. 14].

### Phase der Metakognition

Zum Abschluss der Unterrichtseinheit sollen die Schüler in der Phase der Metakognition ihren Lernprozess zurückverfolgen und reflektieren, inwiefern sich ihre individuelle Vorstellung im Laufe der Unterrichtseinheit möglicherweise verändert hat. Gemeinsam mit den Schülern soll zudem diskutiert werden, inwieweit die im Unterricht behandelten Fehlvorstellungen möglicherweise auch ihre individuellen Vorstellungen widerspiegeln. Außerdem soll erörtert werden, ob die thematisierten Fehlvorstellungen mit Hilfe der angewendeten Argumentationsstrategien aus Sicht der Schüler überzeugend widerlegt werden konnten.

Besonderen Stellenwert nimmt in dieser Phase der Alltagsbezug ein: Hierbei soll eine Gegenüberstellung von gängigen Alltagskonzepten und den naturwissenschaftlich korrekten Vorstellungen erfolgen sowie Überlegungen angestellt werden, inwiefern Alltagskonzepte für die Ausbildung von Fehlvorstellungen verantwortlich sein könnten. Optional könnte in dieser Phase eine inhaltliche Auseinandersetzung mit historischen naturwissenschaftlichen Vorstellungen stattfinden. Gemeinsam mit den Schülern sollte zudem die Frage diskutiert werden, inwiefern Fehlvorstellungen möglicherweise den Lernprozess behindern und Lernschwierigkeiten verursachen können.

Ebenso wie die Phase der Begegnung mit den Schülervorstellungen kann auch die Phase der Metakognition unter Umständen entfallen, da der metakognitive Rückblick auf den Lernprozess hohe Anforderungen an das Reflektionsvermögen der Schüler stellt und bei manchen Themenbereichen die mögliche Herkunft von Fehlvorstellungen nur schwer identifiziert bzw. nicht eindeutig benannt werden kann.

### Ausblick

Im Rahmen von Examensarbeiten sowie Promotionsvorhaben werden derzeit in Kooperation mit dem Institut der Didaktik der Chemie der Universität Münster weitere Unterrichtskonzeptionen für die Sek. I und II zu verschiedenen Themenfeldern des Chemiecurriculums entwickelt, die auf diesem Unterrichtsverfahren basieren. Innerhalb unseres weiteren Forschungsvorhabens ist die Erprobung und Evaluation des Unterrichtsverfahrens an Hand exemplarischer Unterrichtseinheiten bezüglich der Basiskonzepte der Chemie vorgesehen. Zur Evaluation der erprobten Unterrichtseinheiten werden Fragebögen eingesetzt, mit denen erhoben wird, wie die Schüler die Unterrichtseinheiten sowie die inhaltliche Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen bewerten. Mit Hilfe eines quasi-experimentellen Ansatzes wird zudem untersucht, ob das neue Unterrichtsverfahren im Vergleich zum herkömmlichen Unterricht zu einem stärkeren Abbau von Fehlvorstellungen führt. In Kürze werden weitere Unterrichtskonzeptionen sowie erste Evaluationsergebnisse vorgestellt.

### Literatur

- [1] D. P. Ausubel, J. D. Novack, *Psychologie des Unterrichts*, Weinheim 1980<sup>2</sup>
- [2] H. Pfundt, Ursprüngliche Erklärungen der Schüler für chemische Vorgänge, *MNU* **3** (1975) 157-162
- [3] H.-J. Schmidt, *Harte Nüsse im Chemieunterricht – Empirische Untersuchungen über Schülervorstellungen*, Frankfurt/Main 1992
- [4] B. J. Guzzetti, T. E. Snyder, G. V. Glass und W. S. Gamas, Promoting conceptual change in science: A comparative meta-analysis of instructional interventions from reading education and science education, paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco 1992
- [5] P. Pfeifer, B. Lutz und H. J. Bader, *Konkrete Fachdidaktik Chemie*, München/Düsseldorf/Stuttgart 2002<sup>3</sup>
- [6] P. Häußler, W. Bünder, R. Duit, W. Gräber und J. Mayer, *Naturwissenschaftsdidaktische Forschung – Perspektiven für die Unterrichtspraxis*, Kiel 1998
- [7] R. Duit, Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung, *Zeitschrift für Pädagogik* **6** (1995) 905-923
- [8] W. Jung, Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie, *Naturwissenschaften im Unterricht* **13** (1986) 2-6
- [9] S. Schmidt und I. Parchmann, Von „erwünschten Verbrennungen und unerwünschten Folgen“, *MNU* **4** (2003) 214-221
- [10] H.-D. Barke, *Chemiedidaktik – Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*, Berlin/Heidelberg 2006<sup>1</sup>
- [11] R. Driver, *Changing Conceptions*, in: P. Adey (Hrsg.), *Adolescent Development and School Science*, New York/Philadelphia/London 1987, 79-104
- [12] J. K. Gilbert, R. Justi, J. H. van Driel, O. de Jong, D. F. Treagust, *Securing a future of chemical education, Chemistry Education: Research and practice* **1** (2004) 5-14
- [13] H. Mandl et al., *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten*, in: A. Krapp, B. Weidemann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie*, Weinheim 2001, 601-645
- [14] K. A. Strike, G. J. Posner, *Conceptual change and science teaching*, *European Journal of Science Education* **3** (1982) 231-240
- [15] A. Johnstone, *Teaching of chemistry - logical or psychological?*, *Chemistry Education: Research and Practice* **1** (2000) 9-15
- [16] P. Mahaffy, *The future shape of chemistry education*, *Chemistry Education: Research and Practice* **3** (2004) 229-245
- [17] H. Niederderer, *Übersicht über Lernprozessstudien in Physik*, in: IPN (Hrsg.): *Lernen in den Naturwissenschaften*, Kiel (1996) 119-114
- [18] Kultusministerkonferenz (Hrsg.), *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie*, Beschluss der KMK vom 05.02.2004
- [19] R. Heimann, G. Harsch, *Die Chemische Reaktion im Chemieanfangsunterricht*, *CHEMKON* **2** (2007) 75-83
- [20] J. Friedrich, M. Oetken, F. Johannsmeyer, J. Schneider, *Der Kohlenstoffkreislauf zur Einführung des Dalton'schen Atommodells*, *PdN-ChiS* **6** (2005) 35-41
- [21] F. Johannsmeyer, J. Schneider, M. Oetken, *Schülervorstellungen zum Boyle-Versuch*, *CHEMKON* **2** (2003) 73-74
- [22] R. Heimann, G. Harsch, *Schülervorstellungen zur Verbrennung von Kohlenstoff im geschlossenen System*, *Unterricht Chemie* **72** (2002) 305-307
- [23] E. Sumfleth, *Schülervorstellungen im Chemieunterricht*, *MNU* **7** (1992) 410-414
- [24] K. Taber, *Chemical misconceptions – prevention, diagnosis and cure*, Volume I: theoretical background and Volume II: classroom resources, London 2002
- [25] E. von Glaserfeld, *Radikaler Konstruktivismus*, Frankfurt am Main 1996
- [26] F. Johannsmeyer, L. Bley, J. Friedrich, M. Oetken, *Die Masse des „Nichts“ – der Boyle-Versuch in neuem Lichte*, *CHEMKON* **3** (2001) 156-157
- [27] J. Möllering, A. Flint, *Magnesium und Kohlenstoffdioxid – (K)eine einfache Reaktion?*, *CHEMKON* **1** (1999) 11-14

# Das an Schülervorstellungen orientierte Unterrichtsverfahren

Karin Petermann, Jens Friedrich, Marco Oetken

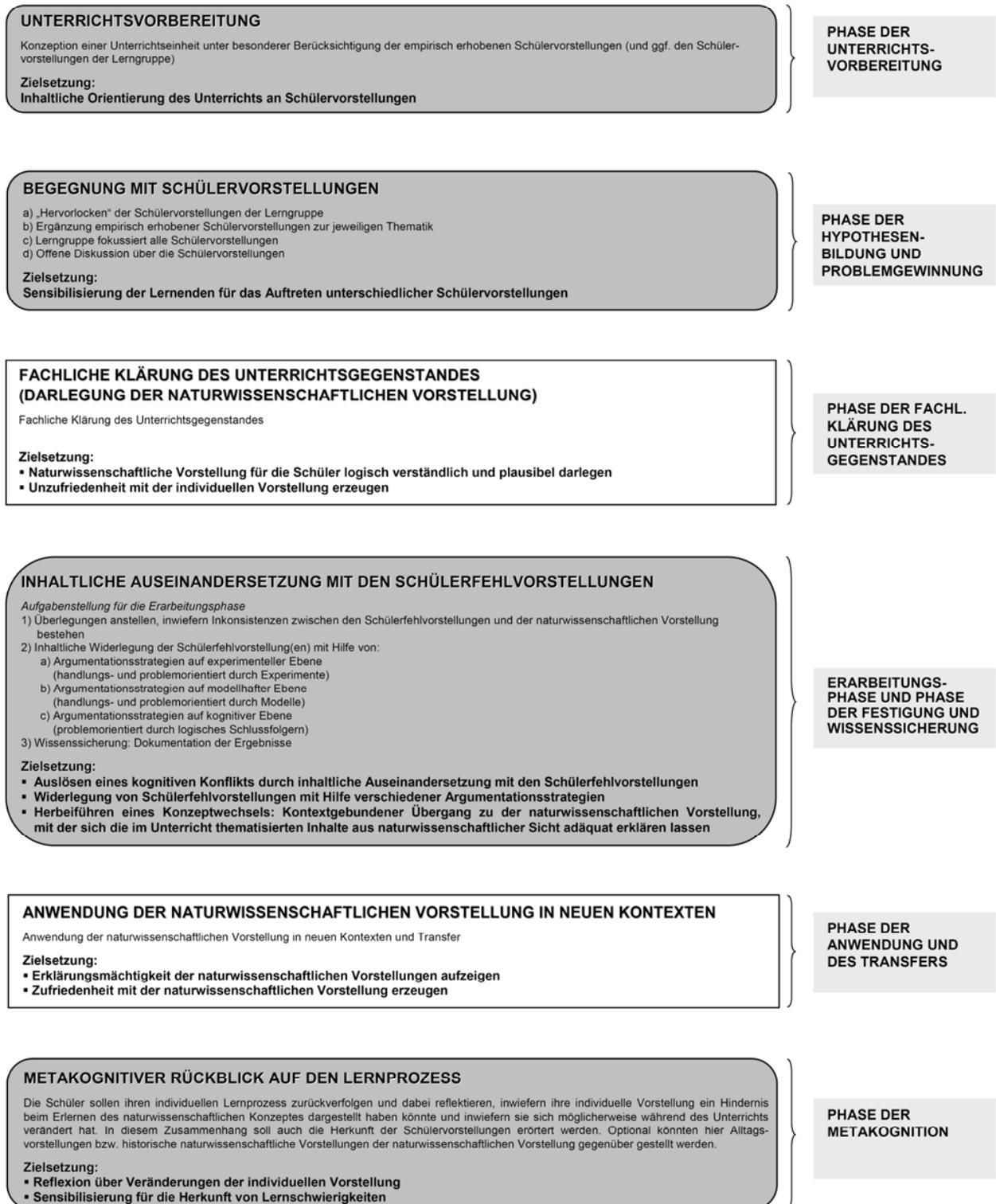


Abb. 3: Schematische Darstellung der Struktur des Unterrichtsverfahrens

Eingegangen am 26. Februar 2007

Angenommen am 20. Oktober 2007

