



Chemie: Ich schaue auf Stoffe und Stoffumwandlungen und ihre energetischen Zustände ...

# Grundbegriffe und Basiskonzepte der Chemie

Von Markus Rehm und Lutz Stäudel

Grundbegriff und Basiskonzept beschreiben und erklären die Grundlagen einer Wissenschaft. Jede Wissenschaft hat einen spezifischen Zugriff auf die Welt. Buck spricht in diesem Zusammenhang vom fachspezifischen Zugriffsmodus [1, 2]. Für die drei Naturwissenschaften – wie sie in der allgemeinbildenden Schule unterrichtet werden – kann man die „Zugriffsmodi“ folgendermaßen charakterisieren (vgl. [3]):

- Physik: Ich schaue auf Kräfte und Energien; ich quantifiziere Beziehungen durch Messungen; ich mathematisiere; Deutungen sind (den Gesetzen) nachgeordnet.
- Biologie: Ich schaue auf lebende Organismen, ich studiere immer Ganzheiten; ich systematisiere die Vielfalt auf komplexe Weise; Deutungen geschehen auf der Folie der Evolutionstheorie.
- Chemie: Ich schaue auf Stoffe und Stoffumwandlungen und ihre energetischen Zustände; ich verknüpfe Stoffe durch Reaktionsgleichungen; ich systematisiere die Vielfalt durch Blick auf die atomare Komposition und atomare Konstellation und nutze dabei die Ideen des Periodensystems der Elemente; die atomare Deutung steht im Fokus.

Den unterschiedlichen Zugriffsmodi entsprechen jeweils eigene Terminologien: So geht es bei der Physik beispielsweise um Wechselwirkungen („Kräfte und Energien“) etc. bei der Biologie um „lebende Organismen“ etc. Die der Chemie eigene, beschreibende Terminologie wird charakterisiert durch: die

Begriffe „Stoff“, „Stoffumwandlung“, „energetisch“, „atomar“, „Element“. Diese Begriffe weisen auf bestimmte Sachverhalte oder Gegenstände hin; man will die Sachverhalte erst einmal beschreiben und gewinnt hierdurch „Grundbegriffe“, dann – in einem zweiten Schritt – will man sie einheitlich erklären und erzeugt damit Konzepte.

In diesem Heft werden wir die oben bereits genannten Grundbegriffe der Chemie illustrieren und sie von den Basiskonzepten als deren Grundlage unterscheiden. So gelangen wir zu einem angemessenen Begriffsgebäude, das den Schülerinnen und Schülern im Chemieunterricht helfen soll, Chemie verstehen zu lernen.

## Grundbegriff oder Basiskonzept?

Grundbegriff oder Basiskonzept: Ist das nicht das Gleiche? Nach ihrer Herkunft könnte man die zwei Worte Grundbegriff bzw. Basiskonzept für bedeutungsgleich halten: Heißt nicht Basis so viel wie Grund? Und kann man das englische Wort *concept* nicht mit Begriff übersetzen? Das ist richtig und doch haben sich unterschiedliche Bedeutungen für die beiden vermeintlich so ähnlichen Wörter eingebürgert. Worin liegt nun der Unterschied? Und: In welcher Beziehung stehen die beiden Begriffe zueinander?

Grob gesprochen kann man sagen: Die Grundbegriffe helfen bei der Beschreibung der vorfindlichen Phänomene auf der stofflichen Ebene und der als unbestritten geltenden Fundamente der Chemie auf der atomaren Ebene, die Basiskonzepte helfen Beobachtungen zu deuten und mit Hilfe der begrifflichen Grundlagen der Chemie Vorhersagen zu entwickeln (vgl. **Info 1**).

Unsere Absicht für den Chemieunterricht ist, Schülerinnen und Schüler in die durch das Denken erschlossene, erklärende Welt der Basiskonzepte zu führen und ihnen hierfür durch die Heranbildung eines überschaubaren Begriffsgebäudes aus fünf Grundbegriffen einen sicheren Ausgangspunkt zur Verfügung zu stellen. Mit diesen Grundbegriffen können die Schülerinnen und Schüler dort abgeholt werden, wo sie stehen und es kann ihnen bewusst gemacht werden, worüber sie sprechen.

## Warum Grundbegriffe im Chemieunterricht?

Basiskonzepte sind mehr als bloße Begriffe; sie sind komplexe Denkschemata einer Wissenschaft und sie sind als solche auf verschiedene andere Begriffe angewiesen bzw. sie beziehen sich ausdrücklich auf „Grund legende“ Begriffe. Beim „Stoff-Teilchen“- und beim „Struktur-Eigenschafts“-Konzept ist dies ganz offensichtlich, es sind bei genauer Betrachtung Konstrukte aus dahinter liegenden Begriffen.

Das Stoff-Teilchen-Konzept zum Beispiel nimmt ausdrücklich Bezug auf die Begriffe „Stoff“ und „Teilchen“. Was aber ist ein „Stoff“ und was ist ein „Teilchen“? Während uns die Antwort beim Begriff „Teilchen“ etwas leichter fällt, denn wir finden eine Antwort in der Klärung des Atombegriffs (vgl. [4]), wird die Klärung des Stoffbegriffs deutlich schwieriger (vgl. S. 12 ff. in diesem Heft). Es bieten sich uns Ersatzbegriffe wie „Materie“ oder „Substanz“ an – was aber zur Klärung nicht weiterhilft. Wir müssen erst einmal klären, was wir sagen wollen und was die Wörter dann im Kontext bedeuten. Was wir brauchen, ist ein Instrumentarium zum Beschreiben dessen, was wir in der Chemie tun und beobachten. Hierbei zeigt sich schnell, dass bereits die bloße Definition von „Stoff“ schwierig ist (vgl. **Info 2**): „Ein Stoff ist gekennzeichnet durch seine Eigenschaften z. B. Siede- und Schmelzpunkt, ...“ So lautete eine Definition nach IUPAC und DIN, die jedoch schnell wieder zurückgezogen wurde (vgl. [5]).

Auch die übrigen Begriffe – als Beispiel sei auf „Energie“ verwiesen – entziehen sich einem unmittelbaren Zugriff (vgl. **Info 3**), auch sehen wir hier, dass Begriffsbedeutungen immer auch vom Kontext abhängen, in dem der Begriff verwendet wird (vgl. **Info 4**): Der physikalische Kontext ist ein anderer als der biologische. Angesichts dieser Schwierigkeiten wird deutlich, dass es nicht ausreicht, die entsprechenden Begriffe einfach irgendwie zu benutzen; sie bedürfen sorgfältiger Untersuchung und – anschließend – ebenso sorgfältiger Einführung und Entwicklung im Unterricht. Wenn wir in diesem Heft fragen, welche Begriffe es sind, die die Basiskonzepte aufbauen können, dann auch um auf Lernschwierigkeiten aufmerksam zu machen, die durch die uneinheitliche Verwendung dieser aufbauenden Begriffe (Grundbegriffe) ausgelöst werden.

INFO 1

## Grundbegriffe und Basiskonzepte

Die Chemie ist eine empirische Wissenschaft und bezieht sich zunächst auf Beobachtbares das mittels Grundbegriffen beschrieben werden kann und dann mittels Basiskonzepten erklärt werden soll. Grundbegriffe sollen also beschreiben, Basiskonzepte sollen erklären.

**Grundbegriffe:** Mit den Grundbegriffen sollen Phänomene oder Naturzusammenhänge beschrieben werden. Im Chemieunterricht können Schülerinnen und Schüler, wenn sie über das entsprechende Begriffsinstrumentarium verfügen, Beobachtungen beschreiben und über sie diskutieren. Wir schlagen deshalb zunächst folgende Grundbegriffe vor: Stoff, Reaktion, Energie.

Es gibt aber noch weitere Grundbegriffe, die für den Chemieunterricht relevant sind, sich aber nicht auf Beobachtbares beziehen können, z. B. Element und Atom. Der Begriff Atom abstrahiert vom Beobachtbaren. Der Elementbegriff nimmt eine Zwitterstellung ein. Wenn wir die Chemie als Wissenschaft verstehbar machen wollen, so dürfen wir Grundbegriffe also nicht nur auf beobachtbare Phänomene beziehen, sondern wir müssen das Begriffsinstrumentarium erweitern auf Begriffe die unhintergehbare Bestandteile der chemischen Theorie sind. Daher schlagen wir als weiteres grundlegendes Begriffsinstrumentarium für den Chemieunterricht auch die Grundbegriffe Element und Atom vor (vgl. **Info 5** und **6**).

**Basiskonzepte** sind den Grundbegriffen auf den ersten Blick hin sehr verwandt, mit ihnen bezweckt man aber mehr. Phänomene und Naturzusammenhänge, die mit den Grundbegriffen lediglich beschrieben werden, sollen mit den Basiskonzepten gedeutet und erklärt werden. Damit sind Basiskonzepte Denkschemata mit denen Beobachtbares (wie z. B. die Änderung von Stoffeigenschaften durch eine chemische Reaktion) oder unzweifelhaft Bestehendes (wie z. B. Atome) erklärt werden können und dadurch erst verstehbar werden. Basiskonzepte sind also komplexe Erklärungsmuster einer Wissenschaft, die sich auf Grundbegriffe stützen.

## Fünf Grundbegriffe zum Aufbau von Basiskonzepten

Zur Vergewisserung, dass die in den Blick gefassten Grundbegriffe auch wirklich geeignet sind, chemische Sachverhalte und Phänomene zutreffend zu fassen, wollen wir zunächst einen Blick auf die Bildungsstandards werfen. Die KMK definiert das, was im Chemieunterricht in der Sekundarstufe der Allgemeinbildenden Schulen gelehrt werden soll, folgendermaßen:

## Drei Ansätze, um den chemischen Stoffbegriff zu definieren

Verschiedene Nomenklaturkommissionen haben versucht, den chemischen Stoffbegriff genau zu definieren. Das ist bisher noch nicht gelungen. Die Deutsche DIN-Kommission hat sogar *expressis verbis* festgestellt, dass der Stoffbegriff „nicht normierbar“ ist [11]. Ein Ausweg aus diesem Dilemma ist unten ausgeführt.

IUPAC hatte zeitweilig einen pragmatischen Stoffbegriff vorgeschlagen, der noch heute im sog. „Goldenen Buch“ der IUPAC [12] verwendet wird:

„Stoff“ ist eine *„matter of constant composition best characterized by the entities (molecules, formula units, atoms) it is composed of. Physical properties such as density, refractive index, electric conductivity, melting point etc. characterize the chemical substance.“* (<http://goldbook.iupac.org/C01039.html>)

Man beachte hierbei: Ein Stoff ist nicht durch seine Eigenschaften schlechthin bestimmt (Farben können zum Beispiel leicht wechseln, siehe Schwefel), sondern nur durch ausgewählte Eigenschaften. Für die Standardisierung von Warenlieferungen und um sich in Gerichtsverfahren auf „denselben“ Stoff verständigen zu können, hatte das Deutsche Normen-Institut in der inzwischen wieder zurückgezogenen DIN-Norm 32629 Stoffportion (1988) festgelegt (s. <http://www.wissen-info.de/technik/din-normen-30000-39999.php>):

*„Zwei Stoffe sind einander gleich, wenn sie in allen ‚stofflichen‘ Eigenschaften übereinstimmen. [...] Also sind z. B. Graphit und Diamant zwei verschiedene Stoffe, und es gilt, dass im Stoff Eisensulfid die Stoffe Eisen und Schwefel nicht mehr vorhanden sind. [...] Erst von einer größeren Anzahl der Bausteine an werden die stofflichen Eigenschaften unabhängig von der ‚Größe‘ des Gegenstands. Von dieser nicht scharfen Grenze an ist die Verwendung des Stoffbegriffs erst eindeutig.“*

Wie schwer es ist, den Grundbegriff „Stoff“ zu fassen, zeigt die EU-weit in der Gesetzgebung anzuwendende Verordnung Nr. 1907/2006 (sog. REACH-Verordnung), die so definiert:

*„Stoff [ist] ein ‚chemisches Element und seine Verbindungen in natürlicher Form oder gewonnen durch ein Herstellungsverfahren, einschließlich der zur Wahrung seiner Stabilität notwendigen Zusatzstoffe und der durch das angewandte Verfahren bedingten Verunreinigung, mit Ausnahme von Lösungsmitteln, die von dem Stoff ohne Beeinträchtigung seiner Stabilität und ohne Änderung seiner Zusammensetzung abgetrennt werden können“* [13].

Es wird letztlich eine Entscheidung der Lehrperson bleiben, mit welchem der drei Stoffbegriffe (IUPAC, DIN, EU) sie im Unterricht umgeht.

## Zwei mögliche Zugänge zum Energiebegriff im Chemieunterricht

Es existieren verschiedene Verständnisse des Energiebegriffs, hierbei sind „physikalische, chemische und biologische Erfahrungsgrundlagen“ bedeutsam [14]. Für die Chemie spielen zwei unterschiedliche Verständnisse des Energiebegriffs eine bedeutende Rolle: der thermodynamische Energiebegriff und der phänomenologische Energiebegriff.

### Energie thermodynamisch gesehen:

Im Kontext der Chemie geht es um die Bilanzierung von Energien bei chemischen Reaktionen, dazu hat sich die thermodynamische Betrachtungsweise durchgesetzt, in der die Energie („Enthalpie“, „Innere Energie“, „Freie Enthalpie“ usw.) als Zustandsgröße angesehen wird. Energie als Zustandsgröße wird in diesem Sinne analog konzeptionalisiert wie die Zustandsgrößen „Volumen“, „Masse“ etc. Bei chemischen Reaktionen lassen sich Energiedifferenzen über die Messung von auftretender Wärme und/oder Arbeit in Form von Prozessgrößen bestimmen. In der Thermodynamik wird ein strenger Unterschied zwischen Zu-

standsgrößen und Prozessgrößen gemacht. Insbesondere „Wärme“ ist ein sehr schwierig zu handhabender Begriff, der sich der Klassifizierung als „Zustandsgröße“ ähnlich wie „Arbeit“ entzieht.

### Energie phänomenologisch gesehen:

Dieser Energiebegriff ist in gewisser Weise mit dem chemischen Stoffbegriff vergleichbar und ihm nachgebildet [14]. Der phänomenologische Energiebegriff unterscheidet explizit Energiearten: Bewegungsenergie, potentielle Energie, ... und auch chemische Energie ebenso wie „Wärme“ und Licht wird hier nun als eine Energieart bezeichnet. Diese Betrachtungsweise ergibt sich aus den Mess- und Bestimmungsverfahren mit denen Wärme und unterschiedliche Arbeitsformen ermittelt werden (und aus denen in der Thermodynamik auf Energiedifferenzen geschlossen wird).

## Der Begriff der Chemischen Reaktion

### Auf der Ebene der Stoffe:

Hier lässt sich der Stoffumsatz beobachten und beschreiben:

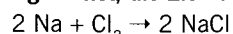
#### Stoffe verschwinden und neue Stoffe entstehen.

Metallisches Natrium und gasförmiges Chlor ergeben  
 farbloses, festes Natriumchlorid  
 $\text{Natrium} + \text{Chlor} \rightarrow \text{Natriumchlorid}$

### Auf der Ebene der Elemente und Atome:

Durch die Elemente-Bilanz lässt sich das Stoffmengen-Verhältnis (angegeben in mol) beschreiben und durch die atomare Neuordnung kann die Beobachtung auf der Stoffebene interpretiert werden.

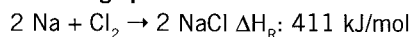
#### Die Atome werden umgeordnet, die Elemente bleiben erhalten.



### Auf der Ebene der Energie(-bilanz):

Die Energieart „chemische Energie“ (im Umfang von 411 kJ pro Mol Umsatz) wird als Energieart „Licht“ und Energieart „Wärme“ messbar.

#### Energiephänomene treten auf.



„Die Chemie untersucht und beschreibt die stoffliche Welt unter besonderer Berücksichtigung der chemischen Reaktion als Einheit aus Stoff- und Energieumwandlung durch Teilchen- und Strukturveränderungen und Umbau chemischer Bindungen. Damit liefert die Chemie Erkenntnisse über den Aufbau und die Herstellung von Stoffen sowie für den sachgerechten Umgang mit ihnen“ [6, S. 6].

Explizit werden für den fachlichen Aufbau des Chemieunterrichts vier Basiskonzepte formuliert:

- das Stoff-Teilchen-Konzept
- das Struktur-Eigenschafts-Konzept,
- die chemische Reaktion und
- die Betrachtung energetischer Umsätze bei Stoffumwandlungen.

Im Mittelpunkt dieser Definition steht die chemische Reaktion. Sie wird als „Einheit aus Stoff- und Energieumwandlung“ gesehen und durch „Teilchen- und Strukturveränderungen“ beschrieben. Hier tauchen die Begriffe Stoff, Teilchen, Energie, Struktur auf.

Die „chemische Reaktion“ ist zugleich der zentrale Begriff, um Chemie verstehen zu können. Mit diesem Begriff im Zentrum des Lernens über Chemie können wir nun ein für Schülerinnen und Schüler handhabbares Begriffsgebäude entwerfen, das es erlaubt, Basiskonzepte begrifflich zugänglich zu machen, ein sprachliches Fundament, um die Basiskonzepte in Worte zu fassen und sie letztlich zu verstehen. Hierzu genügt es nicht, die Worte der vier Basiskonzepte aufzulisten. Vielmehr fragen wir nach der essenziellen Grundlage, mit der die „chemische Reaktion“ für das Lernen von Chemie beschrieben werden kann. Dazu benötigt man weitere grundlegende Begriffe. Es sind die Begriffe *Stoff*, *Element*, *Atom*, und *Energie*. Denn eine chemische Reaktion lässt sich gerade durch diese vier Grundbegriffe beschreiben (vgl. **Info 4**): Bei einer chemischen Reaktion verschwinden Stoffe und es entstehen gleichzeitig neue Stoffe, die Elemente (vgl. **Info 6**) bleiben dabei unverändert erhalten, aber die Atome (vgl. **Info 5**) werden umgeordnet und es lassen sich Energieeffekte beobachten. Eine chemische Reaktion – wenn z. B. Natrium und Chlor zu Natriumchlorid reagiert – lässt sich nun beschreiben.

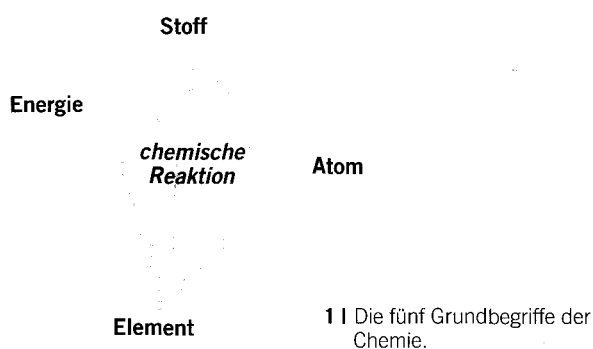
Das Gebäude der fünf Grundbegriffe lässt sich in Form eines Tetraeders darstellen (**Abb. 1**). Die Darstellungsart haben wir gewählt, weil die Form des Tetraeders ein eingängiges Bild dieses Begriffsgebäudes gibt: Der zentrale Begriff ist die chemische Reaktion, die durch die vier anderen Begriffe näher bestimmt wird: Stoff, Atom, Energie, Element. Das heißt: Im Zentrum des Begriffsgebäudes steht der Prozess der chemischen Reaktion, die Zustände, die zur Prozessbeschreibung herangezogen werden, stehen in den Ecken des Tetraeders.

Der jeweils gleiche Abstand der vier Begriffe zum Zentrum entspricht ihrer gleichwertigen Bedeutung für die Beschreibung der chemischen Reaktion. Die Abbildung des Tetraeders signalisiert damit, dass eine vollständige Reaktions-Gleichung dann durch Nennung der beteiligten Stoffe, der beteiligten Elemente bzw. Atome und der Energieänderung gegeben ist. Die Kanten des Tetraeders entsprechen dem Umstand, dass die Begriffe in wechselseitiger Beziehung zueinander zu sehen sind, woraus sich weitere wichtige Begriffe ergeben. So ergibt sich bspw. der Begriff „chemische Verbindung“ durch die Verknüpfung der Grundbegriffe Stoff und Element. Es

entsteht ein begriffliches Netz, ein „Fachwerk der Grundbegriffe“ [7], das den Schülerinnen und Schülern helfen kann das sprachliche Gebäude der Chemie zu (er-)fassen, um letztlich die Basiskonzepte der Chemie auf einer soliden sprachlich anwendbaren Grundlage aufbauen zu können.

## Die Beiträge in diesem Heft

Wie wichtig die Arbeit an einem so gestalteten Begriffsgebäude ist zeigen Sieve und Rehm (vgl. S. 8 ff. in diesem Heft). Das Spektrum der Antworten von (knapp hundert) Schülerinnen und Schüler spricht für sich: wenn etwa versucht wird, die Grundbegriffe der Chemie zu deuten („*Element: Mischung von zwei Feststoffen*“ oder „*Eine Reaktion ist eine chemische Eigen-*



## Der Atombegriff

Wie zeitgemäß ist der Atombegriff im aktuellen naturwissenschaftlichen Unterricht? Was im naturwissenschaftlichen Unterricht hinsichtlich des Atombegriffs gelehrt würde, entspräche „nicht den modernen Theorien über die Materie“, so de Vos & Verdonk [16]. Die in der Schule vermittelten Vorstellungen schöpfen aus „wissenschaftlichen Theorien des 19. Jahrhunderts“. Auch spiegelte sich „der für das 19. Jahrhundert charakteristische Optimismus darin wider, die Naturwissenschaft erzeuge absolut richtige, mikromechanische Erklärungen aller physikalischen und chemischen Phänomene. Spätere Entwicklungen, die zur Zurückweisung der klassischen Mechanik als Quelle für physikalische Prinzipien führten, [spielten aber] kaum eine Rolle im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht“ [16, S. 661–662].

Positiv gewendet bedeutet dies, dass es eine Reihe von essentiellen Merkmalen des Atombegriffs gibt, die unseres Erachtens im naturwissenschaftlichen Unterricht auch durch eine didaktische Reduktion nicht hintergangen werden können:

Atome werden als diskrete Systeme verstanden, die aus Komponenten aufgebaut sind und die ihrerseits wiederum diskrete Systeme sind. Ein solcher Atombegriff trägt einen besonderen Bildungsgehalt, der zu einem zeitgemäßen naturwissenschaftlichen Unterricht Rechnung tragen muss. Unterrichtspraktische Hinweise hierzu finden sich in [4].

*schaft“ oder „Ein Atom ist eine runde Kugel, die unsichtbar in der Luft schwebt“ oder „Ein Stoff kann aus verschiedenen Chemikalien bestehen“ oder „Energie wird immer in Form von Gas bei einer Reaktion freigesetzt“). Auch viele andere Definitions- und Umschreibungsversuche geben Zeugnis von der Hilflosigkeit, mit der die befragten Lernenden versuchen, die für das Fach grundlegenden Begriffe zu skizzieren. Keineswegs soll damit der Unterricht kritisiert oder die Lehrkräfte dieser Schüler für diese Unsicherheiten verantwortlich gemacht werden, vielmehr glauben wir, dass wir ganz allgemein der inhaltlichen Füllung der Grundbegriffe und ihrer Abgrenzung – und weiterhin ihrer Verknüpfung – noch zu wenig Aufmerksamkeit schenken. In diesem Sinn sind die Befunde eher Aufforderung und Ansporn.*

Dem Stoffbegriff widmen sich gleich drei Beiträge, jeder auf seine spezifische Weise. Kienast, Witteck und Eilks stellen zunächst vor dem Hintergrund der Forschungslage spezifische Fehldeutungen auf Schülerseite vor; dazu gehört z. B., dass Gase nicht zu den Stoffen gezählt werden, umgekehrt aber oft Licht, Wärme oder Elektrizität (vgl. S. 12 ff.). Auf Basis der Analyse von alltagssprachlichen Verwendungen der Bezeichnung „Stoff“ entwickeln sie dann eine Strategie für den Unterricht, die den Stoffen Gegenstände gegenüberstellt und so vielfältig Anlass gibt, die getroffenen Zuordnungsurteile zu reflektieren, zu überprüfen und zu korrigieren. Der Stoffbegriff wird so zunehmend geschärft, die Schüler lernen im sprachlich-begrifflichen Versuch, auch aus den zunächst auftretenden Fehlzuschreibungen. Die Autoren verweisen

darauf, dass der Nutzen solch mühsamer Klärungs-Arbeit (im Weiteren auch unter Einbeziehung von Stoff-Eigenschaften) sich schnell bezahlt macht, wenn man zur chemischen Reaktion fortschreitet, was sich empirisch auch gut belegen lässt.

Auch der Niederländer Vogelegang setzt beim Alltagsbegriff „Stoff“ und seiner Vieldeutigkeit an. In der Tradition von H. H. ten Voorde [9] benutzt er sowohl die sprachliche Ebene, um den Stoffbegriff zu klären wie auch einfache experimentelle Zugänge. Anhand von Schüleräußerungen zeigt er, dass Begriffe keineswegs unabhängig voneinander existieren, sondern Teil einer Begriffsstruktur sind. Die Lernenden müssten erfahren, dass in der „verchemischten“ Lebenswelt begriffliche Eindeutigkeit deutlich wichtiger sei als im Alltag. Die Situation im beginnenden Chemieunterricht charakterisiert er wie folgt: Alle Fachbegriffe müssen ihre Bedeutung, ihre Definition erst noch erhalten, aber es kann noch nicht auf andere Fachbegriffe Bezug genommen werden. Zudem müssen die benötigten Begriffe noch von ihren nicht-wissenschaftlichen Bedeutungen losgelöst werden. Er zeigt wie man aus den vertrauten lebensweltlichen Begriffen durch eine bewusst getroffene „Standpunktwahl“ Fachbegriffe gewinnen kann, deren Reichweite dabei mitgelernt wird.

Der dritte Beitrag zum „Stoff“ macht eine Anleihe bei der Geschichte der Chemie und ihrer Vermittlung. Rittersbacher und Buck führen uns Miss Jane H. Marcet vor, die – als Autodidaktin sich ihrer anfänglichen Verstehensprobleme und Missdeutungen stets bewusst – eine Einführung in die Chemie entwickelt, die für ihre Zeit um 1800 bemerkenswert war und auch heute noch ist. Begriffsklärung als Aushandlungsprozess, so sehen Buck und Rittersbacher das, was im frühen Chemieunterricht stattfinden muss, um auf dieser Basis die „Kluft des Nicht-Verstehens“ [10] zu verringern (vgl. S. 19 ff.). Dazu entwickeln sie den Ansatz des multifokalen Unterrichts, der sich mit der Sache, der Sprache und (deren) Ästhetik auseinandersetzt. Textauszüge aus der Feder von Marcet sollen im Original, also in Englisch, in den Unterricht Eingang finden. Damit hoffen die Autoren die eingeschliffenen Bedeutungszuweisungen der Alltagssprache umschiffen zu können, weil die Schüler bei den fremdsprachlichen Wörtern zunächst deren grundsätzliche Bedeutung herausfinden und dann mit ihrem Sprachrepertoire verknüpfen müssen.

Als zweiter Grundbegriff wird im unterrichtspraktischen Teil dieses Heftes der Element-Begriff thematisiert. Rehm und Sieve gehen hier auf Lernschwierigkeiten im Umgang mit dem Elementbegriff ein (vgl. S. 24 ff.). Sie skizzieren drei unterschiedliche Verwendungsweisen des Elementbegriffs im Unterricht, die – bleiben sie unreflektiert – diese Lernschwierigkeiten erzeugen. Bevor sie unterrichtsmethodische Vorschläge formulieren, plädieren sie für eine klare Begriffsdefinition des Elements als Atomsorte (vgl. **Info 6**). Ganz anders formuliert Habelitz-Tkocz Wege zum Elementbegriff im Unterricht, indem sie ebenfalls die Definitionen des Begriffs klärt, aber anders als Rehm und Sieve für eine Verwendung des Elementbegriffs auf der Stoffebene plädiert (vgl. S. 28 ff.).

Zum Dritten geht es um die Energie. Nach bereits früher vorgelegten Heften dieser Zeitschrift [8] kommt diesmal mit K. Scheler ein Physikdidaktiker zu Wort. Wir finden diesen Artikel so passend, weil er an einem physikalischen Thema

## Der Elementbegriff

Es sind im chemischen Zusammenhang (mindestens) drei Verwendungsweisen üblich:

- (1) „Element“ in Abgrenzung zu „Verbindung“
- (2) „Element“ in Abgrenzung zu „Stoff“,
- (3) „Element“ als Synonym für „Atomart“

„Element“ in Abgrenzung von „Verbindung“ (1) geht auf Robert Boyle zurück: Ein Element ist ein Stoff, der nicht weiter in zwei oder mehr andere Stoffe zerlegt werden kann. Eine Verbindung kann dagegen in mehrere Stoffe zerlegt werden.

„Element“ in Abgrenzung von „Stoff“ (2) geht auf Antoine Lavoisier zurück: Ein Element (*élément, principe*) ist dasjenige, was bei einer chemischen Stoffumwandlung erhalten bleibt. Es ist Träger der Masse und bei Lavoisier eigenschaftsverleihend, z. B. *principe oxygénique*. Der „Stoff“ (*matière*) dagegen verschwindet und entsteht neu.

Ein „Element“ ist eine „Atomart“ (3); diese Gleichsetzung geht auf eine Empfehlung von IUPAC zurück. Es gibt in diesem Sprachgebrauch „elementare Stoffe“, d. h. Stoffe, die aus nur einer Atomart zusammengesetzt sind, aber „Element“ selbst steht in diesem Sprachgebrauch nicht auf der Ebene des „Stoff“-Begriffs (IUPAC) (vgl. auch [15, S. 3 u. 26]).

Alle drei Verwendungsweisen werden meist nebeneinander verwendet, ohne ihre Unterschiede explizit zu thematisieren. Das führt im naturwissenschaftlichen Unterricht zu Lernschwierigkeiten, die durch die Lehrpersonen und/oder durch Schulbücher produziert werden. Der gleichzeitige Gebrauch unterschiedlicher Elementbegriffe führt dann zu Verständnisblockaden.

Chemiker und an Chemie Interessierte. Königshausen und Neumann. Würzburg 2000

- [6] KMK: Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Abschluss. München/Neuwied 2005: Luchterhand.
- [7] Hilbert, D.: Axiomatisches Denken. In: *Mathematische Annalen*, Bd. 68 (1918), S. 405–415
- [8] Parchmann, I.; Schmidkunz, H.: Energie. *NiU-Chemie* 22(2011) Nr. 121
- [9] ten Voorde, H.: Der chemische Elementbegriff als Ergebnis eines Wechsels in der Betrachtungsweise. In: *chimica didactica* (10/1984), S. 99–116
- [10] ten Voorde, H.: Die Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Ein Problem des Unterrichtens. *chimica didactica* (9/1983), S. 138–175
- [11] Busemann, J.: Betrachtungen über das Wort „Stoff“ und seinen Gebrauch in der chemischen Fachsprache. In: Janich, P. & Psarros, N. (Hrsg.), *Die Sprache der Chemie*. Königshausen & Neumann 1996, S. 47–54
- [12] McNaught, A.D.; Wilkinson, A. (Hrsg.): *Compendium of Chemical Terminology (the "Gold Book")*. 2. Auflage. Oxford 1997: Blackwell Scientific Publications
- [13] Rengeling, H.-W.: *Europäisches Stoffrecht – zu Inhalten, Abgrenzungen und Zusammenhängen sowie zur Harmonisierung, Systematisierung und Kodifizierung allgemeiner Regelungen*. Carl Heymans Verlag. Köln/München 2009
- [14] Theilmann, F.; Rehm, M.: Die phänomenalen physikalischen, chemischen und biologischen Erfahrungsgrundlagen eines Begriffs Energie als Bilanzierungsgröße. *chimica didactica* 31(2005) Nr. 96, S. 238–254
- [15] Leigh, G.; Favre, H.; Metanomski, W.V.: *Principles of Nomenclature: A Guide to IUPAC Recommendations Bk. 2 (IUPAC chemical data series)*. Oxford 1998: Blackwell Science
- [16] de Vos, W.; Verdonk, A. H.: The Particulate Nature of Matter in Science Education and in Science. *Journal of Research in Science Teaching* 33(1996), S. 657–664

vorführt, wie schwierig eine Bestimmung dessen ist, was ein Begriff bezeichnen soll – ähnlich wie in unserem Metier beim Begriff vom „Stoff“. Scheler setzt sich mit den gängigen Einführungen des Energiebegriffs im Unterricht auseinander und mit den daraus jeweils resultierenden Problemen. Letztlich kommt er zu dem Schluss, dass eine nützliche und tragfähige alltagsbasierte Vorstellung die von der Energie als Tauschwert bei Veränderungen sein könnte (vgl. S. 33 ff.). Was wir daraus lernen können ist, dass es nicht zuerst auf formale Definitionen ankommt, sondern auf ein Konzept, das plausibel ist und sich in den unterschiedlichsten Situationen als tragfähig erweist.

Um solche Betrachtungen auch für den Chemieunterricht fruchtbar zu machen schließen sich eine Reihe von „Gesprächsanlässen zur Energie“ (Rehm) an. Die Gespräche haben die Funktion, die Lernenden – im Sinne einer *Scientific Literacy* – an die Erklärungsfunktion von Basiskonzepten heranzuführen, so dass diese nicht als unverrückbare Naturtatsachen angesehen werden. Rehm führt drei Gesprächsanlässe auf (Stahlfeder in Säure, Pumpspeicherkraftwerk, brennende Kerze in Sauerstoff) auf die das Energie-Konzept nach Scheler und das Energie-Konzept nach Parchmann und Demuth angewendet werden können (vgl. S. 38 ff.).

Entsprechend der zentralen Position im Begriffs-Tetraeder führt der Beitrag von Schmidkunz mit der „chemischen Reaktion“ die zuvor entfalteten Grundbegriffe zusammen. Ausgehend vom Allgemeinen dieses Schlüsselbegriffs stofflicher Veränderung differenziert er in Richtung verschiedener Reaktionstypen, illustriert durch charakteristische Experimente. Schmidkunz schließt so mit der „chemischen Reaktion als Basiskonzept“ und zeigt dabei auf, worüber Schülerinnen und Schüler in diesem Zusammenhang verfügen, wenn sie den Anforderungen der Bildungsstandards genügen.

Mit dem „Reinstoff“ thematisiert Pfeifer schließlich einen Begriff, der besonders in der Praxis von Unterricht und Labor eine lange Geschichte besitzt. Er wirft dabei die Frage auf, was „rein“ eigentlich bedeutet und in welchen technischen, analytischen und präparativen Zusammenhängen ein differenziertes Verständnis hiervon Bedeutung erlangt.

Wir hoffen, dass Sie als Leserin oder Leser uns auf dem teilweise schwierigen Weg der Klärung der Grundbegriffe folgen werden und dass Sie mit dem Gewinn aus dieser Vergewisserung Ihren Schülern noch effektiver als bisher bei dem Versuch unterstützen können, ein grundlegendes – begriffliches – Verstehen der Chemie und ihrer Strukturen und Prozesse zu entwickeln.

### Literatur

- [1] Buck, P.: Über physikalische und chemische Zugriffsmodi. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 2(1996), Heft 3, S. 25–28
- [2] Buck, P.: Chemical Comprehension versus Physical Comprehension: The Case of Julius Robert Mayer. In: Janich, P. & Psarros, N. (Hrsg.): *The Autonomy of Chemistry*. Königshausen & Neumann 1998, S. 119–134
- [3] Rehm, M.; Bündler, W.; Svoboda, G.; Haas, T.; Buck, P.; Labudde, P.; Wilhelm, M.; Rittersbacher, Ch.; Østergaard, E.; Genseberger, R.; Brovelli, D.: Legitimierungen und Fundamente eines integrierten Unterrichtsfachs ›Science‹. In *ZfDN*, 14(2008), S. 99–124
- [4] Rehm, M.; Parchmann, I.: Atome – Vorstellungen entwickeln. *NiU-Chemie* 22(2011) Nr. 121
- [5] Wünsch, G.: *Einführung in die Philosophie der Chemie: Studienbuch für*