

# Chemische Schlüsselkonzepte

Netzwerk aus Leitideen für Unterricht und Lehre

M. W. Tausch

Ein Exkurs in die Begriffslandschaft der Erkenntnistheorie soll dazu anregen, den Wahrheitsgehalt und Gültigkeitsbereich von Konzepten, die im Chemieunterricht vermittelt werden, zu hinterfragen. Dabei werden auch die lehrplangebundenen Basiskonzepte aufgemischt und auf den Prüfstand gestellt.

**Stichwörter:** Schlüsselkonzepte, Basiskonzepte, Paradigmen, konstruktivistische Lernschleifen

## 1 Was sind Schlüsselkonzepte?

Mit einem Schlüssel schließt man etwas auf oder zu. Der Haustürschlüssel eröffnet den Zutritt in ein ganzes Haus und verschließt ihn für Unbefugte. Wenn der Schlüssel ein Konzept, also ein Gedanke ist, braucht man ihn nur zum Öffnen, Schließen ist nicht gefragt. Aber stattdessen soll das Konzept auch helfen, Ordnung zu schaffen und Wissen zu vermitteln.

**Definition:** Ein Schlüsselkonzept ist eine Leitidee, die den Zugang zu einem großen Wissensgebiet eröffnet, seine Strukturierung unterstützt und seine Vermittlung erleichtert.

Die Erkenntnisse hinter einem Schlüsselkonzept einer Naturwissenschaft bilden für unser geistiges Auge ein wohlgeordnetes Bild eines Bereichs aus der Natur, das in Harmonie mit den sinnlichen Wahrnehmungen und intellektuellen Deutungen unserer Außenwelt steht (Abb. 1). Es gibt aber auch Schlüsselkonzepte zu Erkenntnissen über die abstrakten Denkweisen, Interaktions- und Kom-

munikationsformen, die der Philosophie, der Pädagogik und der Fachdidaktik zugeordnet werden können.

Lässt man sich auf die oben angegebene Definition des Begriffs Schlüsselkonzepte ein, so drängen sich unweigerlich einige semantisch verwandte Begriffe auf. Was in diesem Aufsatz mit Schlüsselkonzept gemeint ist, findet sich sowohl in der naturphilosophischen Erkenntnistheorie als auch in den naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen gelegentlich als *Axiom, Postulat, Prinzip, Regel, Gesetz, Paradigma ...* oder *Basiskonzept* wieder. Welcher dieser Begriffe den Vorzug erhält, ist oft historisch bedingt, denn inhaltlich unterscheiden sie sich nur in Nuancen. Insofern sind die Schlüsselkonzepte als gemeinsamer Pool für all diese Begriffe zu verstehen. Es soll nun versucht werden, anhand von Beispielen zunächst eine Differenzierung unter diesen Begriffen vorzunehmen. Anschließend sollen die Basiskonzepte aus den Lehrplänen in die Vergleichsanalyse mit einbezogen werden. Einige Erkenntnisse aus diesen Betrachtungen können sich für das Lehren und Lernen von Chemie als nützlich erweisen.

## 2 Axiome, Postulate und Prinzipien

Das **Axiom** als Grundannahme, die aufgrund der praktischen Erfahrung so einleuchtend und selbstverständlich ist, dass sie von keiner Theorie bestätigt werden muss, ist in der Mathematik gut bekannt. Die Mathematik ist eine Geisteswissenschaft *par excellence*, aber sie ist gleichzeitig auch ein nützliches und unverzichtbares Werkzeug für die Naturwissenschaften. Ein oder nur ganz wenige Axiome sind die Schlüssel zu ganzen mathematischen Theoriegebäuden, weil sie sich widerspruchsfrei daraus herleiten lassen. Die mathematischen Axiome sind oft Existenz-Aussagen, in denen es um Sein oder Nichtsein geht. So basiert die gesamte klassische Geometrie auf Euklids Axiom, wonach es in einer Ebene durch einen Punkt außerhalb einer Geraden genau eine Parallele zu dieser Geraden gibt. Das Rechnen mit Zahlen in der Arithmetik hat Giuseppe Peanos Axiom als Grundlage, wonach es für jede natürliche Zahl  $n$  genau einen Nachfolger  $n+1$  gibt. Auch die mathematischen Strukturen wie Gruppe, Ring und Körper sind Gedankengebäude die sich aus jeweils einem Satz weniger Axio-



**Abb. 1:** Die Teile dieses Waldausschnitts, die Baumstämme und das Gebüsch, die verschiedenen Laubzonen und das Licht, fügen sich hier zu einem Bild zusammen, das wir als ansprechend und schön empfinden. Dieses ästhetische Gefühl ist im Einklang mit unseren sinnlichen Wahrnehmungen aus der Natur und mit unserem Verständnis über die Gründe dieser Anordnung.

© Smileus – Fotolia.com

me herleiten. In der Physik sind es auch nur die drei Axiome von Isaac Newton, allerdings besser als Gesetze oder Prinzipien bekannt (Trägheitsprinzip, Beschleunigungsprinzip und Wechselwirkungsprinzip), auf denen die gesamte klassische Mechanik mit all ihren Gesetzen und Gleichungen zur Statik, Kinematik und Dynamik aufgebaut ist.

Was unterscheidet ein **Postulat** von einem Axiom? Nicht viel. Das Postulat muss ebenso wie das Axiom als Grundannahme (entscheidende Hypothese) für die Errichtung eines theoretischen Gebäudes erhalten. Am Beispiel der im Jahr 1913 von Nils Bohr als „Postulate“ bezeichneten Aussagen kann der Unterschied zum Axiom verdeutlicht werden. Die beiden wichtigen Postulate von Bohr beziehen sich auf die Bewegung der Elektronen im elektrischen Feld des Atomkerns und lauten vereinfacht folgendermaßen:

- Atome können nur in bestimmten, stationären Zuständen existieren. Dabei bewegen sich die Elektronen auf „Umlaufbahnen“ um den Kern und emittieren entgegen den Gesetzen der Elektrodynamik keine elektromagnetische Strahlung.
- Atome können elektromagnetische Strahlung in Form ganz bestimmter Energiequanten (Photonen)  $E = h \cdot \nu$  absorbieren oder emittieren. Im Atom finden dabei „Quantensprünge“ zwischen stationären Zuständen statt, wobei die Elektronen von einer kernnäheren auf eine kernfernere bzw. von einer kernferneren auf eine kernnähere „Umlaufbahn springen“.

Bohrs Postulate sind *nicht* so unmittelbar einsichtig wie etwa das oben zitierte Axiom von Euklid. Es war seinerzeit ein kühner Gedanke, mit dem Bohr den Atomen

seine Postulate gewissermaßen aufzwingen, indem er die im Jahr 1900 von Max Planck etablierte Idee von der Quantifizierung der Energie (Quantifizierungsprinzip) auf die Atome übertrug. So schuf Bohr durch seine Postulate das nach ihm benannte Atommodell. Damit konnten grundlegende experimentelle Fakten erklärt werden, beispielsweise die Linienspektren des von Atomen verschiedener Elemente emittierten Lichts.

Heute wird nicht mehr von „Umlaufbahnen“ der Elektronen gesprochen, sondern von Aufenthaltswahrscheinlichkeiten und Orbitalen. Die stationären Zustände müssen nicht mehr postuliert (gefordert) werden, sie ergeben sich aus quantenmechanischen Berechnungen mit Wellenfunktionen [1]. Die Quantenmechanik hat in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts einen Siegeszug durch die theoretische Physik und Chemie angetreten, der auch heute noch anhält.

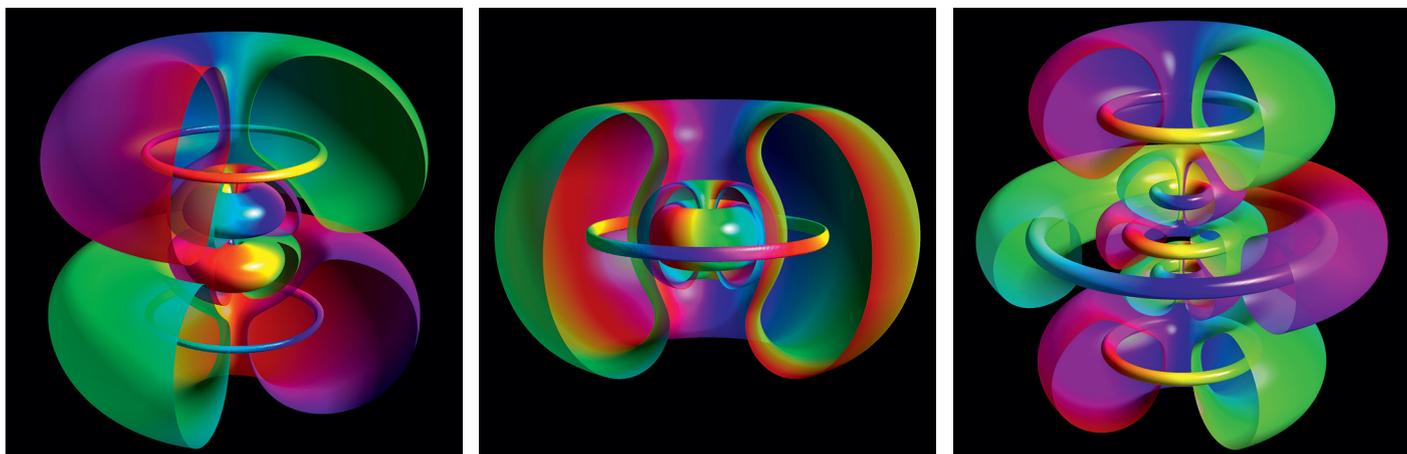
Das Schlüsselkonzept, das den Weg zu der Fülle nützlicher Erkenntnisse aufgrund der quantentheoretischen Betrachtungsweise atomarer und molekularer Systeme möglich macht, beinhaltet drei fundamentale Hypothesen: i) die Annahme von der Quantifizierung der Energie (*Quantifizierungsprinzip*, Max Planck, 1900), ii) die Annahme vom Teilchen-Welle-Dualismus des Elektrons und anderer Quantenobjekte (*Komplementaritätsprinzip*, Nils Bohr 1927) und iii) die Annahme, dass es prinzipiell unmöglich ist, gleichzeitig den Ort und die Energie eines Elektrons oder eines anderen Quantenobjekts mit beliebiger Genauigkeit zu bestimmen (*Unschärferelation*, Werner Heisenberg, 1927). Diese drei Arbeitshypothesen führen über einen konsistenten mathematischen Formalismus mit Wellenfunktionen, komplexen Zahlen und Integralen u. a. zu den

*Orbitalen*. In der Chemie werden sie als räumliche Bereiche mit großen Aufenthaltswahrscheinlichkeiten für Elektronen gedeutet [1] und gehören zum unverzichtbaren Repertoire von Atom- und Molekülmodellen (auf Schulniveau allerdings begrenzt und in abgespeckter Form). Bernd Thaller bietet online unter [2] ästhetisch faszinierende Bilder von Orbitalen an (Abb. 2) und gibt aufschlussreiche Erläuterungen zu ihren Formen, Symmetrien und Farben.

Selbst Bohrs „Quantensprünge“ der Elektronen zwischen Orbitalen resultieren bei der quantentheoretischen Beschreibung mit Wellenfunktionen als logische Konsequenz. Der Physik-Nobelpreisträger 2004, Frank Wilczek, stellt fest, dass bei solchen Quantensprüngen aus theoretisch vorhergesagten virtuellen Energiequanten reale Photonen werden [3]: „*In that way, the electron transitions to a state of lower energy, a virtual photon becomes a real photon, and there is Light.*“ Hört sich das nicht an, wie ein Gelöbnis, *Theorie* würde zu *Licht*<sup>1</sup>, oder *Geist* zu *Materie* oder *Nichtsein* zu *Sein*? Und ist nicht all das die logische Konsequenz aus der Erhebung des Komplementaritätsprinzips über den Teilchen-Welle-Dualismus des Elektrons hinaus auf die allerhöchste Ebene der philosophischen Grundfragen?

Wie dem auch sei, in den oben angeführten Beispielen ist ein **Prinzip** insofern synonym zu einem Axiom oder einem Postulat, als darin eine *Hypothese* jeweils als Prinzip bezeichnet wird. Häufig verwendet man den Begriff Prinzip aber in

1 „Theorie wurde zu *dunklen Gravitationswellen*“, als diese am 11. Februar 2016 erst 100 Jahre nach ihrer Vorhersage durch A. Einstein detektiert werden konnten. Dies könnte sich als Schlüssel zum Verständnis der dunklen Materie des Universums erweisen.



**Abb. 2:** Orbitale im Wasserstoff-Atom, die stationären Zuständen entsprechen. Bei diesen Beispielen gilt für das Tripel der Quantenzahlen  $(n, l, m)$  von links nach rechts  $(4, 2, 2)$  bzw.  $(4, 2, 1)$  bzw.  $(5, 3, 1)$ . Zur Verdeutlichung der inneren Struktur wurde jeweils ein Viertel herausgeschnitten.

Bilder gedruckt mit Erlaubnis von Bernd Thaller, Universität Graz, Quantum Graphics Gallery [2])

der Bedeutung einer übergeordneten **Regel** oder eines **Gesetzes**. Das ist der Fall, wenn als Prinzip ein *gemeinsames Merkmal* gemeint ist, das aus mehreren Teilen eines theoretischen Netzwerks oder aus einer größeren Ansammlung von empirischen Beobachtungen, z. B. aus Experimenten, hergeleitet wurde. Solche Prinzipien, Regeln und Gesetze gibt es sowohl in den Natur-, als auch in den Wirtschafts-, Geistes-, Sozial- und Erziehungswissenschaften. Die Chemie ist voll davon. Stellvertretend seien das *Prinzip* von Le Chatelier (Prinzip vom kleinsten Zwang) über chemische Gleichgewichte, das *Prinzip* von Energieminimum und Entropiemaximum bei der „Triebkraft“ von chemischen Reaktionen, das Donator-Akzeptor-Prinzip bei den Protonen- und Elektronentransferreaktionen, die RGT-Regel (Reaktionsgeschwindigkeits-Temperatur Regel), die Markownikow-Regel bei elektrophilen Additionen, das Gesetz von den konstanten Massenverhältnissen und die Gesetze von Faraday zur Elektrolyse genannt.

Schließlich wird der Begriff Prinzip auch umgangssprachlich benutzt. Oft wird damit eine subjektiv festgelegte *Regel* oder *Leitlinie* für eigenes Verhalten im Alltag und im Berufsleben hervorgehoben. Beispiele für diesen Gebrauch sind Redewendungen wie „mein Prinzip ist, einen Menschen nicht nach seinem äußeren Erscheinungsbild zu beurteilen“ oder „mein Prinzip ist, ‚falsche‘ Hypothesen von Schülern nicht sofort zu verwerfen“.

Die Semantik des Begriffs Prinzip hat also mehrere Facetten. Aus den oben angeführten Beispielen wird deutlich, dass ein Prinzip ähnlich wie eine Axiom oder ein Postulat den Rang einer *richtungsweisenden Arbeitshypothese* haben kann (Quantifizierungsprinzip, Komplementaritätsprinzip). Darüber hinaus wird der Begriff

Prinzip – gerade in der Chemie – oft auch als Bezeichnung für eine verallgemeinerte Zusammenfassung einer Klasse von Phänomenen oder Erkenntnissen verwendet und hat dann eine ähnliche Bedeutung wie eine Regel oder ein Gesetz.

Vergleicht man diese Ausführungen über Axiome, Postulate und Prinzipien mit der in Teil 1 des Aufsatzes vorgeschlagenen Definition des Titelbegriffs, so ist festzustellen, dass wir uns noch voll im Bedeutungsbereich der Schlüsselkonzepte befinden. Das wird auch im folgenden Teil so bleiben.

### 3 Hypothesen und Paradigmen

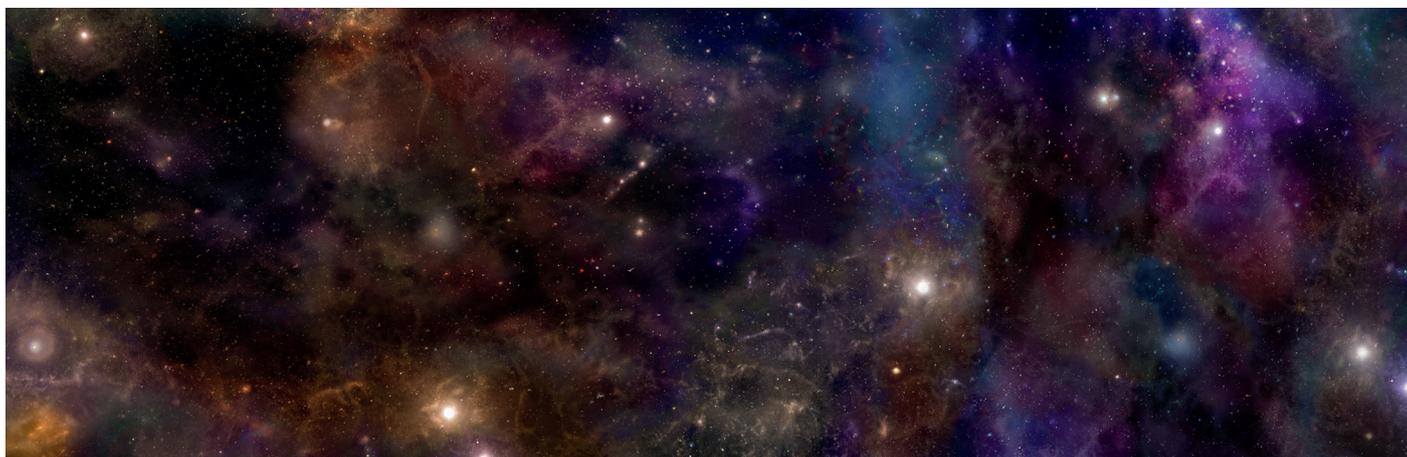
Nach Karl Popper, einem der bedeutendsten Philosophen des 20. Jahrhunderts, ist all unser Wissen nur „Vermutungswissen“ [4a]. Alle theoretischen Aussagen haben nur den Rang von **Hypothesen**, also Vermutungen. Eine Hypothese kann nicht bewiesen (verifiziert), wohl aber widerlegt (falsifiziert) werden. Ein Experiment, in dem eine Hypothese bestätigt wurde, ist nicht als eine Verifikation, sondern als eine „gescheiterte Falsifikation“ anzusehen.

Sinnverwand mit Hypothesen, jedoch umfangreicher als diese sind die **Paradigmen** nach Thomas Kuhn. Ohne sich auf eine exakte Definition einzulassen, gebraucht Kuhn den Begriff Paradigma im Sinne eines ganzen Satzes von Experimenten und Fakten, Hypothesen sowie theoretischen Aussagen und Modellen, die in einer bestimmten historischen Periode für eine Fachwissenschaft, z.B. die Physik, die Chemie oder die Biologie, als Fundament gelten. Kuhn umschreibt ein Paradigma folgendermaßen: „drei Klassen von Problemen – Bestimmung bedeutsamer Tatsachen, gegenseitige Anpassung von Fakten und Theorie, Artikulierung der

Theorie – machen, so glaube ich, die normale Wissenschaft aus“ [4b]. Eine Periode „normaler Wissenschaft“ kennzeichnet sich dadurch, dass das vorherrschende Paradigma von allen Vertretern der entsprechenden *community* anerkannt wird. Normaler Wissenschaftsbetrieb produziert nicht unerwartete Neuheiten, sondern die „Lösung von Rätseln“ (*puzzle-solving*) innerhalb eines Paradigmas. Das ist eine kumulative Phase in der Wissenschaft. Sie führt zu vielen neuen Erkenntnissen, die mit dem Paradigma, d.h. auch mit in dem in jeweils aktuellen Lehrbüchern propagierten Wissen, im Einklang stehen. So wurde beispielsweise die Astronomie seit der Antike über mehr als 1500 Jahre lang vom geozentrischen Paradigma des Universums beherrscht, das als Ptolemäisches Weltbild bekannt ist. Es stellt unseren Planeten in den Mittelpunkt des Universums und alles dreht sich um die Erde. Mit dem Auftreten von „Anomalien“, d. h. der Entdeckung neuer Tatsachen, die nicht mehr zum Paradigma passen, gerät die Wissenschaft in eine Krise. Ein neues Paradigma entsteht, das entscheidende Komponenten des alten „auf den Kopf stellt“<sup>2</sup>. Wenn sich das neue Paradigma gegen das alte durchsetzt, kommt es nach und nach (nicht sofort!) zu einem Paradigmenwechsel, einer „wissenschaftlichen Revolution“ [5]. Das war in der Astronomie der Fall, als im Zeitalter der Renaissance das geozentrische Paradigma des Universums durch das heliozentrische, das Kopernikanische Weltbild, abgelöst wurde (Abb. 3).

Für die Chemie beschreibt T. Kuhn den Prozess einer wissenschaftlichen Revolution sehr ausführlich am Beispiel des

<sup>2</sup> Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass das „alte“ Paradigma nicht in seiner Gänze verworfen wird, wohl aber in Teilen, die darin wichtig sind.



**Abb. 3:** Einsteins Relativitätstheorie (1915), die als aktuell gültiges Paradigma anzusehen ist, lässt überhaupt kein „Zentrum“ des Universums zu. Nach heutiger Auffassung besteht das Universum aus heller Materie, die als Galaxien, Sterne und Planeten sichtbar ist und aus unsichtbarer, dunkler Materie über die man noch nicht viel weiß. Das gesamte Universum driftet mit zunehmender Geschwindigkeit auseinander, es expandiert.

Übergangs von G. Stahls Phlogistontheorie zu A. Lavoisiers Sauerstofftheorie der Verbrennung. Im Zeitraffer kann dieser Paradigmenwechsel auch im Chemieunterricht genutzt werden, um ein fundamentales Aha-Erlebnis bei Schülerinnen und Schülern auszulösen (vgl. dazu Teil 4 dieses Beitrags).

Es erscheint sinnvoll, an dieser Stelle auf einige weitere im Verlauf der Chemiegeschichte *rivalisierende Paradigmen* hinzuweisen, die für das Lehren und Lernen von Chemie nützlich sind. Dazu gehören:

- die Auseinandersetzung zwischen C. J. Berthollets Annahme (um 1800) der beliebigen Massenverhältnisse der Elemente in chemischen Verbindungen und L. J. Prousts Annahme der konstanten Massenverhältnisse (1804), die zugunsten der konstanten Massenverhältnisse ausfiel und in J. Daltons Atomhypothese (1808) eine theoretische Grundlage erhielt;
- die Kontroverse zwischen J. Daltons Auffassung (1808), wonach die kleinsten Teilchen „einfacher Stoffe“ (Elemente) unteilbare Atome sind und A. Avogadros Hypothese (1811) von den Molekülen als kleinste, aus mehreren Atomen zusammengesetzte Teilchen, die sich erst nach Avogadros Tod (1856) durchsetzen konnte;
- der Disput zwischen M. Faradays Auffassung (um 1830) gelöste Salze dissoziieren in Ionen, sobald Strom durch die Lösung fließt und S. Arrhenius Hypothese (1884), wonach die Dissoziation in Ionen bereits beim Lösen des Salzes

in Wasser erfolgt;

- der Meinungsstreit zwischen J. J. Berzelius Auffassung (1835), ein Katalysator besitze eine verborgene Kraft, seine bloße Gegenwart rufe chemische Tätigkeiten hervor, die ohne ihn nicht stattfinden und W. Ostwalds Meinung (1885), der Katalysator greife aktiv ins Reaktionsgeschehen ein indem er mit dem Edukt eine Zwischenverbindung eingeht und im Produkt nicht mehr enthalten ist.

Ein Schlüsselkonzept (vgl. Definition in Teil 1) ist annähernd das Gleiche wie ein Paradigma in Kuhns Verständnis. Es sei aber betont, dass beim Schlüsselkonzept auch seine Nützlichkeit für die Vermittlung von Wissen, also für die Lehre, zu den wesentlichen Merkmalen gehört. In der Lehre der Chemie, insbesondere im schulischen Chemieunterricht, sollte man Schlüsselkonzepte nicht *à priori* und axiomatisch vorgeben. Man sollte sich vielmehr forschend-entwickelnd an sie heranschleichen, indem man von empirischen Erfahrungen im Lebensalltag und experimentellen Beobachtungen im Labor ausgeht.

#### 4 Konstruktivistische Lernschleifen

Aus methodischer Sicht besteht eine essentielle Analogie zwischen „wissenschaftlichen Revolutionen“ in der Wissenschaftsgeschichte und „konstruktivistischen Lernschleifen“ im forschend-entwickelnden Chemieunterricht [5]. Hier werden kognitive Krisen dadurch erzeugt, dass neue

Fakten aus Experimenten als Anomalien zu den vorhandenen Denkmustern (Konzepte, Begriffe, Modelle) erscheinen und zu ihrer Anpassung zwingen.

Dabei werden gelegentlich auch im Chemieunterricht vorhandene Denkmuster „auf den Kopf“ gestellt, beispielsweise bei der in Abb. 4 skizzierten Lernschleife.

Die **Erkundung** der Schülervorstellungen über das, was bei der Verbrennung eines Stoffes geschieht, sollte als Einstieg in diese Unterrichtseinheit auf keinen Fall vernachlässigt oder gar ignoriert werden. Im Chemie-Anfangsunterricht (ebenso wie bei großen Teilen der Bevölkerung) kann festgestellt werden, dass angenommen wird, beim Verbrennen verschwinde ein Teil aus dem brennenden Stoff. Folglich müsste die Masse der Produkte geringer sein als die des verbrannten Stoffs. Das wird in der Phase der **Erforschung** im Unterricht mit experimentellen Fakten widerlegt, eine kognitive Krise wird erzeugt. Im Wechselspiel Hypothese – logische Konsequenzen – Planung und Durchführung weiterer Experimente wird weiter *geforscht* und dabei eine neue Vorstellung über die stofflichen Vorgänge beim Verbrennen *konstruiert*. Die **Anpassung** mündet in A. Lavoisiers „Sauerstofftheorie“ der Verbrennung, basiert also auf der Hypothese, dass beim Verbrennungsvorgang nicht etwas aus dem brennenden Stoff verschwindet, sondern dazu kommt. Im Unterricht gehen damit auch die Einführung der Begriffe *Sauerstoff* und *Oxid* sowie erste Kenntnisse über die *Bestandteile der Luft* und über Faktoren, von denen die *Heftigkeit* (Geschwindigkeit) einer Verbrennung als *chemische Reaktion* abhängt, einher. Dieses neue theoretische Gebäude aus Hypothese, Begriffen Modellen und Aussagen erklärt die alten und neuen Fakten widerspruchsfrei. Seine **Anwendung** auf Phänomene aus dem Alltag, der Technik und der Umwelt, bei denen Verbrennungen ablaufen, erweist sich als leistungsfähig. Vieles, was für Lernende bisher im Zusammenhang mit Verbrennungsvorgängen noch geheimnisvoll erschien, wird jetzt logisch einleuchtend.

Zu einem echten Paradigmenwechsel wie in der oben beschriebenen Lernschleife, also zur Umkehrung der vorhandenen Grundhypothese genau in ihr Gegenteil, kann (und sollte!) es im Unterricht nur selten kommen. Oft besteht die Anpassung im Rahmen einer konstruktivistischen Lernschleife „nur“ in der Entdeckung neuer Gemeinsamkeiten und Unterschiede, die zu neuen Begriffen,

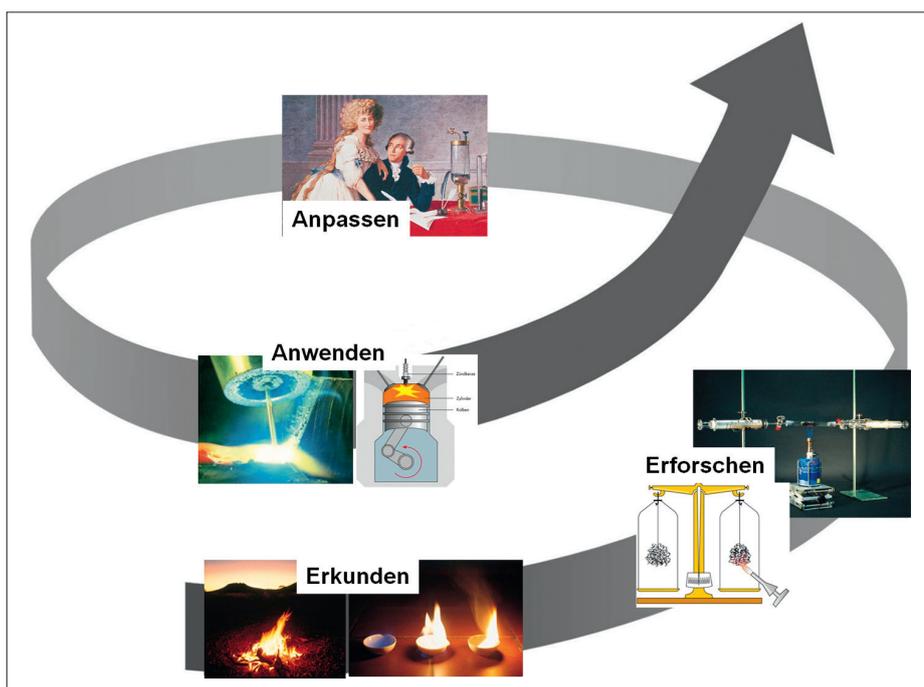


Abb. 4: Konstruktivistische Lernschleife zur Einführung der Sauerstofftheorie der Verbrennung nach A. Lavoisier.

Klasseneinteilungen, Ordnungsrelationen, verfeinerten Modellen, verallgemeinernden Regeln und Gesetzen führen.

## 5 Basiskonzepte und Schlüsselkonzepte

Der Kernlehrplan für Chemie in NRW [6] stellt fest: „Basiskonzepte sind grundlegende, für den Unterricht eingegrenzte und für Schülerinnen und Schüler nachvollziehbare Ausschnitte fachlicher Konzepte und Leitideen. Sie stellen elementare Prozesse, Gesetzmäßigkeiten und Theorien der naturwissenschaftlichen Fächer strukturiert und vernetzt dar. Sie beinhalten zentrale, aufeinander bezogene naturwissenschaftliche Begriffe, erklärende Modellvorstellungen und Theorien, die sich in dem jeweiligen Fach zur Beschreibung elementarer Phänomene und Prozesse als relevant herausgebildet haben. Dabei erheben sie nicht den Anspruch, jeweils das gesamte Fach vollständig abzubilden. Die besondere Bedeutung der Basiskonzepte für das Lernen besteht darin, dass mit ihrer Hilfe schulische Inhalte der einzelnen naturwissenschaftlichen Fächer sinnvoll strukturiert werden und die fachlichen Beziehungen durch den Konzeptgedanken über die gesamte Lernzeit miteinander verbunden werden können“.

Diese Umschreibung wurde wörtlich zitiert, denn sie ist präzise, einleuchtend und umfassend. Vergleicht man sie mit der Definition aus Teil 1, so drängt sich die Frage auf: *Sind Basiskonzepte und Schlüsselkonzepte nicht ein- und dasselbe?* Die Antwort ist zweideutig. Sie lautet: *Ja*, wenn es darum geht, was Schlüsselkonzepte bzw. Basiskonzepte leisten sollen und *nein*, wenn es um die praktische Umsetzung in den Lehrplänen geht.

Obwohl Bildungspolitik Ländersache ist, hat man es geschafft, Basiskonzepte in allen landesspezifischen *Lehrplänen, Kernlehrplänen, Rahmenrichtlinien, Kerncurricula* oder *Bildungsplänen* ebenso wie in den bundeseinheitlichen *Bildungsstandards* der Kultusministerkonferenz für den Chemieunterricht [7] im Sinne des obigen Zitats zu verankern. Noch mehr: Erfreulicherweise sind die Basiskonzepte aus Tab. 1 in den Lehrplänen aller 16 Bundesländer für die Sek. I und/oder Sek. II enthalten. Das ist ein großer Schritt in die Richtung der bundesweiten Vereinheitlichung des Chemieunterrichts.

Allerdings sind die KMK-Vorschläge nicht überall 1:1 umgesetzt:

- Im Kernlehrplan für die Sek. I in NRW wurden die beiden Konzepte *Stoff-Teilchen* und *Struktur-Eigenschaft* zu einem anderslautenden Basiskonzept

### Basiskonzepte in der Sekundarstufe I

- Stoff-Teilchen
- Struktur-Eigenschaft
- Chemische Reaktion
- Energie

### Basiskonzepte in der Sekundarstufe II

- Stoff-Teilchen
- Struktur-Eigenschaft
- Donator-Akzeptor
- Gleichgewicht
- Energie

Tab. 1: Fünf Basiskonzepte für den Chemieunterricht nach den KMK Bildungsstandards [8]

mit der Bezeichnung *Struktur der Materie* fusioniert [6].

- Es gibt unterschiedliche Ergänzungen, beispielsweise *Kinetik* in Niedersachsen, oder *Ordnungsprinzipien* und *Arbeitsweisen* in Baden-Württemberg [8, 9].
- Im Bildungsplan aus Baden-Württemberg ist sogar von *Leitlinien* statt von *Basiskonzepten* die Rede [9].

Diese Abweichungen sind begründet, aber sie zeigen, dass die praktische Umsetzung der hehren Ansprüche des „5-Basiskonzepte-Konzepts“, also der *big five* aus Tab. 1, bereits bei der Gestaltung von Lehrplänen Schwierigkeiten bereitet, weil sie nur Teile von dem erfassen, was wichtig ist. Das führt erstrecht bei der Umsetzung im Chemieunterricht zu größeren Problemen. Die fünf Basiskonzepte sind halt nur der größte gemeinsame Nenner, auf den man sich in Deutschland bildungspolitisch einigen konnte. Daher sind folgende Anmerkungen angemessen und zweckmäßig:

1. Stellt man die fünf Basiskonzepte (Tab. 1) aus Sicht einer unterrichtenden Lehrkraft auf den Prüfstand, so stellt man zunächst fest, dass einige wesentliche Schlüsselkonzepte des Faches Chemie und des Chemieunterrichts darin nicht vertreten sind, beispielsweise:

- *Arbeitsweisen* und *Erkenntniswege* (Experimente, Hypothesen etc.),
- *Denken* und *Argumentieren* in Gegensatzpaaren (hydrophil-hydrophob, polar-unpolar, exotherm-endothrm, nukleophil-elektrophil, Analyse-Synthese, Homolyse-Heterolyse, Addition-Eliminierung, Absorption-Emission etc.)
- *Klasseneinteilungen* und *Ordnungsrelationen* (Element- und Stofffamilien, Redoxpotenziale, Säurestärken etc.)
- *Nachhaltigkeit* im Umgang mit Stoffen und Verfahren (Recycling, produktionsintegrierter Umweltschutz etc.).

2. Bei der Planung und Gestaltung von Unterricht muss auch kritisch geprüft werden, ob und inwiefern unverzichtbare Schlüsselkonzepte wie folgende in den die fünf Basiskonzepten aus

Tab. 1 bereits enthalten sind, ihnen also untergeordnet werden können<sup>3</sup>:

- das Konzept der chemischen Modell- und Formelsprache (Atom- und Molekülmodelle, Summen-, Valenzstrich- und Gerüstformeln, Reaktionsmechanismen etc.)
  - das Mesomeriekonzept (bei aromatischen und nicht-aromatischen Systemen)
  - das Konzept vom Grundzustand und elektronisch angeregten Zustand (bei Atomen, Molekülen und anderen Atomverbänden)
  - das Konzept der Funktionalität (funktionellen Gruppen in der organischen Chemie, Funktionsmaterialien, funktionelle Farbstoffe)
  - das Konzept der kinetischen und thermodynamischen Kontrolle von Reaktionen
3. Schließlich müssen die fünf Basiskonzepte aus den Lehrplänen auch hinsichtlich ihrer wissenschaftlichen Konsistenz und didaktischen Prägnanz auf den Prüfstand. Wenn man klare Antworten auf folgende Fragen einfordert, geraten die *big five* nacheinander ins Wanken:
    - Wo ist die *Grenze* zwischen dem Stoff und den Teilchen, aus denen er besteht? Diese Frage ist besonders bei nanostrukturierten Materialien relevant.
    - *Welche* Struktur bestimmt eigentlich die Eigenschaften? Ist es die Struktur der Teilchen oder die der Umgebung, in der sie vorliegen?
    - Warum ist das Donator-Akzeptor Konzept nicht auf *alle* Reaktionen anwendbar? Welche alternativen Schlüsselkonzepte für die Klassifizierung von Reaktionen gibt es (z. B. in der organischen Chemie)?
    - Welche Bedeutung hat die *Entropie* im Energiekonzept? Sie ist für den Verlauf chemischer Reaktionen ebenso essentiell wie die Energie.
    - Was ist mit den Systemen, in denen sich keine chemischen Gleichgewichte einstellen können? Die weit aus meisten Systeme, in denen che-

<sup>3</sup> Gleiches gilt für die vielen *Prinzipien, Regeln* und *Gesetze* in der Chemie, beispielsweise die in Teil 2 genannten.

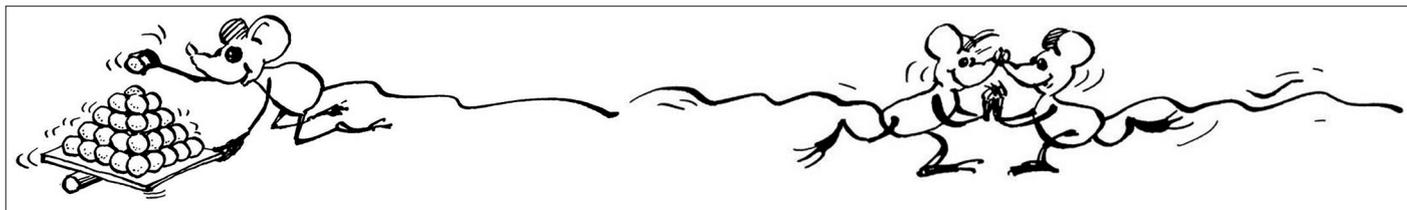


Abb. 5: Instabile Ordnung und stabiles Paar

Zeichnungen: Peter Lowin, Bremen

mische Reaktionen im Labor, in der Technik und in der Natur ablaufen, sind offene Systeme und darin sind chemische Gleichgewichte unmöglich.

Die chemischen Schlüsselkonzepte im Sinne der Definition in Teil 1 beinhalten auch die fünf Basiskonzepte aus Tab. 1, sie sind aber zahlreicher und differenzierter. Der Versuch, die in diesem Beitrag bereits in den Pool der Schlüsselkonzepte aufgenommenen Prinzipien, Regeln etc. und weitere Schlüsselkonzepte sowie die fünf Basiskonzepte zusammenzufassen und hierarchisch anzuordnen, ist ein wackeliges Unternehmen (Abb. 5, links). Die aufzubauende Hierarchie müsste unter einer Perspektive erfolgen, bei der *à priori* bestimmten Kriterien der Vorzug gegeben wird. Das könnten i) philosophisch-erkenntnistheoretische, ii) fachspezifisch-chemische oder iii) didaktisch-methodische Kriterien sein. Sobald die Perspektive geändert wird, verliert die erstellte Ordnung ihre Gültigkeit, sie ist instabil.

Und was will uns das Paar der tanzenden Mäuse in Abb. 5 sagen? *Contraria sunt complementa* – Gegensätze ergänzen sich. Das Komplementaritätsprinzip ist ein übergeordnetes Schlüsselkonzept, das allen drei Kriterien i)–iii) standhält. Ist das vielleicht auch die Kugel, in der rechten Hand der Didaktik-Maus aus Abb. 5? Wenn ja, wäre der Platz, der für sie noch frei ist, der richtige.

#### Literatur

- [1] M. W. Tausch, M. v. Wachtendonk (Hrsg.), CHEMIE 2000+, C. C. Buchner, Bamberg 2007  
 [2] B. Thaller, <http://www.uni-graz.at/imawww/vqm/gallery.html>  
 [3] F. A. Wilczek, *A Beautiful Question – Finding Nature's Deep Design*, Penguin Press New York, 2015  
 [4] a) K. Popper, *Logik der Forschung*, 11. Aufl., Tübingen, 2005; b) K. Popper, *Tübinger Vorlesung, gehalten am 27. Juli 1982*; b) T. S. Kuhn, *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, 4. Auflage, Suhrkamp, Frankfurt/M. 1979

- [5] M. W. Tausch, *Didaktische integrativer Chemieunterricht*, PdN-ChiS, 65 (5), 44 (2016)  
 [6] Ministerium für Schule und Weiterbildung in Düsseldorf (Hrsg.), *Kernlehrplan Chemie Gymnasium Sek. I in Nordrhein-Westfalen*, Ritterbach Verlag Frechen 2008  
 [7] Sekretariat der Kultusministerkonferenz (Hrsg.), *Bildungsstandards Chemie*, Luchterhand Verlag, München 2005  
 [8] Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.), *Kerncurriculum für das Gymnasium, Naturwissenschaften*, Unidruck, Windhorststr., Hannover 2007  
 [9] *Bildungsstandards für Chemie in Baden-Württemberg*: [www.bildung-staerkt-menschen.de/service/downloads/Bildungsstandards/Gym/Gym\\_Ch\\_bs.pdf](http://www.bildung-staerkt-menschen.de/service/downloads/Bildungsstandards/Gym/Gym_Ch_bs.pdf)

Anschrift des Verfassers  
**Prof. Dr. Michael W. Tausch**  
 Chemie und ihre Didaktik  
 Bergische Universität Wuppertal  
 Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal  
[mtausch@uni-wuppertal.de](mailto:mtausch@uni-wuppertal.de)

# Schlüsselkonzepte – Chemieunterricht mithilfe von Leitideen planen und gestalten

L. Marx

Chemische Schlüsselkonzepte sind mehr als die Basiskonzepte aus den Lehrplänen. Ausgehend von Leitideen wird gezeigt, wie eine kompetenz- und handlungsorientierte Ausbildung der Chemie-Lehrkräfte im Vorbereitungsdienst erfolgen kann.

**Stichwörter:** Basiskonzepte, Schlüsselkonzepte, Leitideen, Handlungssituationen, Gegensatzpaare

## 1 Einleitung

Jede Chemielehrerin und jeder Chemielehrer stellt den Anspruch an sich, einen guten Unterricht zu planen und durchzuführen. Die Qualität des Chemieunterrichts hängt davon ab, was die Lehrkraft über das Fach weiß, denn nur auf dieser

Basis kann der Unterricht sinnstiftend geplant und durchgeführt werden [1]. Hierzu wird eine Fachkompetenz benötigt, die für das Verständnis der Inhalte und der Förderung von Lernprozessen hilfreich ist. Die von der KMK formulierten fünf Basiskonzepte [2] dienen als fachspezifische wie auch fachübergreifende Denkkonzepte und „stellen Konzentrate fachlichen Wissens dar, die für die Lehrkraft das Netz aufspannen können, in das die verfügbaren und zu erlernen-

den Fachkenntnisse produktiv eingebettet werden können.“ [1]. Die Unterrichtspraxis zeigt jedoch, dass diese „big five“ nicht ausreichend sind, Unterricht zu konzipieren sowie die Schülerinnen und Schüler neues Wissen in größere Zusammenhänge einordnen bzw. das Gebäude der Chemie erfassen zu lassen. Auf der Grundlage der Basiskonzepte ist es daher notwendig, weitere Schlüsselkonzepte zu identifizieren, die für die inhaltliche Strukturierung