

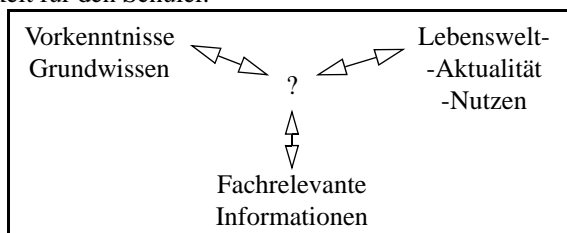
# Chemische Unterrichtsprinzipien

Michael A. Anton

Im Rahmen der Lehrerbildung wird eine Fülle von fachdidaktisch und pädagogisch relevanten Begriffen eingeführt und praxisbezogen erläutert. Hierzu zählen solche wie "Chemie als eine Naturwissenschaft", "Methodik des fachwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns", "Lehrpläne und Lehr-Lern-Inhalte", "Ziele des Unterrichtens", "Unterrichtsformen", "Unterrichtsmethoden", "Unterrichtshilfen", "Unterrichts(erfolgs)kontrollen" und nicht zuletzt "Unterrichtsprinzipien". Kein Zweifel, dieses letztgenannte Thema erscheint von allen das am wenigsten Griffige zu sein. Es sieht so aus, als könne man hier nur "schwafeln" und in Gemeinplätzen referieren. Oft wird diesem Begriff auch die nötige pragmatische Umsetzung abgesprochen und er der ausgesprochenen Praxisferne bezichtigt. In jedem Fall lassen sich aber aus diesen Kritikpunkten Argumente für ein Ignorieren herleiten!

Im Folgenden soll nun gezeigt werden, dass es sich bei den "Unterrichtsprinzipien" nicht um eine unverbindliche Laune des Theoretikers handelt. Vielmehr beschreibt dieser Begriff den Rahmen für die besonders sinnvolle, weil schüler- und sachorientierte Flexibilität bei der Wahl aus den Beispiel-pools der anderen Begriffe (s.o.).

Im vorgestellten Modell der Unterrichtsprinzipien geht es primär um eine besonders bedeutungsadäquate Zuordnung von typischen Aspekten der chemischen Lehr-Lern-Inhalte, welche in der Schule im Fach Chemie den "Stoff" ausmachen. Gemeint sind die *fachwissenschaftliche Relevanz* (i.d.R. Notwendigkeit für das chemische Verständnis), die *Beziehbarkeit auf Vorkenntnisse* und jeweils vorhandenes fachliches Grundwissen und die unmittelbare *lebensweltliche Aktualität* bzw. Nutzbarkeit für den Schüler.



Häufig werden die drei Aspekte nur fakultativ und mit zu geringer Deutlichkeit aufeinander bezogen, meist gelingt nur ein oberflächlicher Zweierbezug. Stets verursacht eine unvollständige Bezugnahme jedoch Defizite im Bereich der affektiven Akzeptanz und der kognitiven Anwendung der Inhalte durch den Schüler und unterminiert - fast möchte man sagen traditionsgemäß - den Bildungsanspruch unseres Faches. Vgl. hierzu die Ausführungen von J. A. Stöckhardt: *Die Schule der Chemie oder Erster Unterricht in Chemie*; Braunschweig 1881, hier: Vorwort zur ersten Auflage 1846 (!):

*Die Chemie ist, abgesehen von ihrer Nützlichkeit, die Niemand bestreiten wird, eine so schöne Wissenschaft: sie*

Dr. Michael A. Anton, Ludwig-Maximilians-Universität München, Didaktik und Mathematik der Chemie, Butenandt-Str. 5-13, 81377 München-Großhadern, Fon: 0049-(0)89-2180-7396; Fax: -7856, [mao@cup.uni-muenchen.de](mailto:mao@cup.uni-muenchen.de)  
Workshop und Diskussionsvortrag (25.2.99)

*macht uns erst recht heimisch in unserer allernächster Nähe; sie giebt uns den Schlüssel zu den allgewöhnlichsten Naturveränderungen, zu den zahllosen Veränderungen, die ohne Unterbrechung um uns her vor sich gehen; sie zeigt auch im Kleinsten das Walten einer ewigen Ordnung und Weisheit; sie bildet das Beobachtungsvermögen und den Scharfblick so des Auges wie des Geistes. Und doch wird sie immer noch nicht als ein allgemeines Bildungsmittel anerkannt, noch nicht an allen Gymnasien, in allen Seminaren gelehrt! Eine Wissenschaft, die uns Aufschluss giebt über die gewöhnlichsten Erscheinungen in der Natur, sollte nicht jedem nach Bildung strebenden Menschen von hohem Interesse sein? Eine Wissenschaft, die uns zeigt, dass auch im Kleinsten eine ewige Weisheit, Ordnung und Gesetzmässigkeit herrscht, sollte nicht auch einen wohlthätigen Einfluss auf das moralische Gefühl des Menschen ausüben? Eine Wissenschaft, welche das Beobachtungs- und Urtheilsvermögen des Menschen schärft, sollte nicht auch um des pädagogischen Nutzens willen, als formales Bildungsmittel, Eingang in höheren Bildungsanstalten verdienen? Kann ein Geistlicher, ein Schulmann, ein Gebildeter überhaupt, unwissend bleiben in den gemeinsten Wahrheiten, die in wenigen Jahrzehnten Eigenthum, wenn auch nicht aller, doch sehr vieler Handwerker uns Landleute sein wird?*

Wir gehen davon aus, dass das obige Bild anders gezeichnet werden muss. Neue Beziehungen zwischen den fachdidaktischen Kriterien erleichtern die Verwirklichung der zurecht unablässig proklamierten Lehr- und Lernbarkeit unserer chemischen Bildungsinhalte.

"Wie gesagt hat das alles etwas mit Chemie zu tun und ist deshalb auch schwierig zu erklären" (Studentin der Physikdidaktik in ihrer Zulassungsarbeit über 'Physikalische Phänomene in der GS', hier zum Thema 'Versuche mit Rotkohlr', München 1998). Vielmehr erwachsen die unterrichtlichen Probleme aus den sehr komplexen Inkongruenzen zwischen ihrem Vermittlungsanspruch und den lernpsychologischen Voraussetzungen des Mittelstufenschülers. In der neuen Übersicht (siehe S. X) werden die erwähnten Beziehungen verdichtet. Von unten nach oben gelesen, sind sie wie folgt zu interpretieren.

Fachinhalte stoßen bei der Vermittlung im Rahmen des Schulunterrichts stets auf analogisierbare Vorkenntnisse. Darunter verstehe ich eine individuell erworbene, sehr pragmatisch bewertete und bewährte Wissensstruktur, die von Schüler zu Schüler in Umfang und Systematik extrem variiert. Diese Deutungssysteme wahrgenommenen Wirklichkeiten oder auch subjektiven Theorien von Jugendlichen der Primarstufe und der Sekundarstufe I, die mit dem Fach Chemie (nicht mit der Chemie!) neu und erstmals in Kontakt kommen, zeichnen sich durch einen besonders hohen Bewährungsgrad aus. Die Vorstellungen von sauren Lösungen, von Werkstoffen, von Verbrennungsvorgängen sind durch vielfache Wahrnehmungen über Sinne und Emotionen als persönliche Erfahrungen vielfach konsolidiert.

Das Ziel des Fachunterrichts besteht in der Relativierung, fallweisen Richtigstellung und fachsystematischen Ordnung von Inhalten, die, grob formuliert, unter der Thematik (Bezugssy-

stem) "Stoffartumwandlungen" subsumierbar sind. In jedem Fall erfahren diese subjektiven Vorkenntnisse einen mehr oder weniger drastischen Bedeutungswandel, der in seiner Begründbarkeit stets *frag-würdig* ist.

Die fachdidaktische Herausforderung besteht in der Integration dieses Grund- und Aufbauwissens in den chemischen "Vorkenntnisstand". Gelingt dies nicht, so wird es neben den Vorkenntnissen abgespeichert und schlimmstenfalls ausschließlich in Prüfungssituationen reproduziert bzw. reorganisiert.

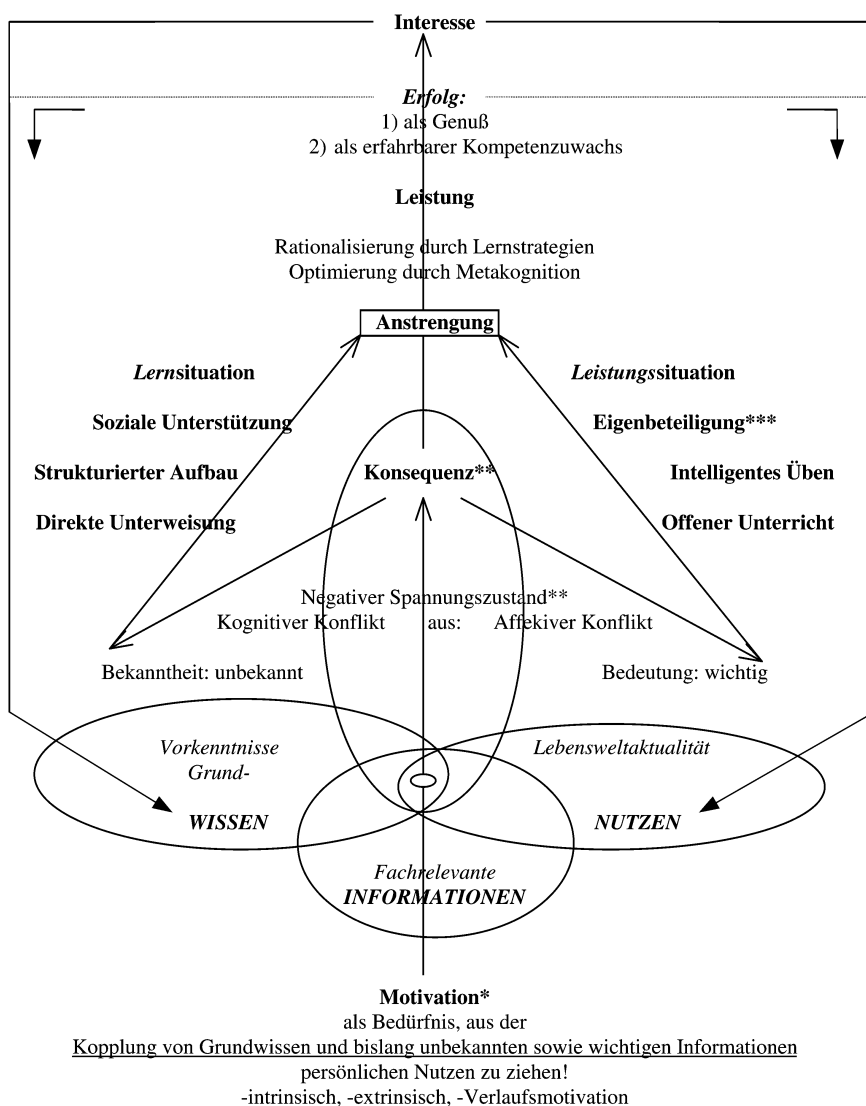
Unsere Bemühungen richten sich deshalb auf die nachhaltige Sicherstellung von Vorbedingungen für das Lehren und Lernen, welche den Bedeutungswandel als hilfreich erleben lassen, die Integration unterstützen und die Separation weniger wahrscheinlich werden lassen.

Zu diesen Konditionen zählen die klare Klassifizierung fachspezifischer Informationen hinsichtlich Bekanntheit und Bedeutung für die aktuelle *und* zukünftige Lebenssituation des Schülers. Der Nutzen erschließt sich allerdings nicht auf Anhieb, was für Lehrer und Schüler gilt. Es erfordert z.T. gewal-

tige fachdidaktische und lernpsychologische Anstrengung, die bei der Erstellung von Lehrplänen wie auch von schultyp- und jahrgangsstufen- sowie klassenspezifischen Stundenbildern zu leisten sind [1]. Gelingt aber die Kombination von "unbekannt" und "wichtig", so kann damit ein negativer Spannungszustand erzeugt werden. Er steht für "Das was ich da noch nicht weiß, möchte ich wissen!". Mit ihm erwächst im Idealfall das Bedürfnis, aus der Kopplung von Vorkenntnissen bzw. später von Grundwissen mit unbekanntem und bedeutsamen Informationen persönlichen Nutzen zu ziehen. Ein Nutzen ist das Erzielen guter Beurteilungen [2]. Eine wünschenswerte Konsequenz ist die Befriedigung dieses Bedürfnisses. Dies ist immer und ausnahmslos mit Anstrengungen verbunden, die besonders am Anfang keinesfalls vom Schüler *allein* erbracht werden können. Um sie in eine effiziente Leistung münden zu lassen, muss die Last auf mehrere Schultern verteilt werden, auf die des Schülers und auf die des Lehrers. Die konstruktivistische Lernleistung [3] des Schülers gelingt in dem Maße wie es der Lehrer versteht, seine mathetischen (Mathematik: Lehre vom Lernen) und didaktischen Leistungen zielgerecht einzubringen. Das Instrumentarium für die praktische Umsetzung

der hier beanspruchten "adaptiven Kompetenz" des Lehrers [4] kann analogisierend mit dem folgenden "Stand der Technik" beschrieben werden. Es handelt sich um einen situativ angepassten Form- und Methodenwechsel, insbesondere um die Trennung von Lern- und Leistungssituationen und damit auch schwerpunktmäßig von Umgangsformen mit Fehlern bei der direkten Unterweisung (Fehlerkorrekturen) bzw. beim offenen Unterrichten (Fehlervermeidung). Ferner handelt es sich um einen adaptiven Wechsel von sozialer Unterstützung bei der Vorstellung von feinstrukturierten Inhalten und schülermitverantworteter Eigenbeteiligung beim intelligenten Üben an systemischen Aufgabenstellungen. Ziel dieses Zusammenspiels ist einerseits die Selektion rationeller Lernstrategien für den einzelnen Schüler und andererseits deren Optimierung mit Hilfe metakognitiver Kompetenzen bis hin zu Problemlöseroutinen.

Nun könnte man behaupten, dass dieser Konnex eher zu den selbstverständlichen Arbeitszielen des Lehrers zählt, und dass letztlich die Anstrengungen als auch die ihnen folgende Leistung schulimmanente Sachverhalte darstellen. Dies stimmt aber nur teilweise. Die geschilderten Zusammenhänge funktionieren ganz besonders im Fach Chemie in mehr als 70 % des Unterrichts nur suboptimal. Nur etwa ein Drittel der Lehrerschaft läßt die adaptive Kompetenz fruchtbar werden. Das mag u. a. auch damit zusammenhängen, dass bei dieser Minderheit die erbrachte Leistung in ausreichend langen Genussphasen münden, mit denen Erfolg erlebt werden kann. Dies einmal kurzfristig als Eupho-



\*Vgl. auch: Rossa, E.: *Experimentieren im Chemieunterricht - bildend, sicher, umweltgerecht.*; in: NiU-Ch 14(1992)3,4-6, 5

\*\*Lehtinen, E.: *Institutionelle und motivationale Rahmenbedingungen und Prozesse des Verstehens im Unterricht*; in: Reusser, K.; M. Reusser-Weyeneth (Hrsg.): *Verstehen*, Bern 1994, S. 143ff

\*\*\* Vgl. auch: Rossa, E.: *Vom fremd- zum selbstbestimmten chemischen Experimentieren.* in: NiU-Ch 14(1992)3, 12-15, 15

rie, aufgrund einer Befriedigung eines motivationalen Bedürfnisses, als "kick", "flow" oder Hochgefühl und ein andermal als dauerhaften Kompetenzzuwachs im Rahmen eines domänenspezifischen Verstehens. Das bedeutet, dem Schüler wird bewußt gemacht, dass sich seine Anstrengungen und Leistungen (aber auch die seines Lehrers) zur Lösung des kognitiven und affektiven Konflikts erfolgreich gelohnt haben. Gerade hieraus entsteht langandauerndes Interesse. Diese Bereitschaft zur aktiven Problembewältigung ist gut dazu geeignet, gleichermaßen neue Konflikte (Fragen) zu provozieren wie an ihrer Auflösung tatkräftig mitzuwirken.

Hier schließt sich der Kreis. Er berücksichtigt nicht nur die neuen Erkenntnisse aus der Lernpsychologie, dass nämlich Interesse durch Leistung erzeugt wird und - zumindest für die Mittelstufenschüler - nicht umgekehrt (!), sondern auch, dass die hier beschriebenen Lehr-Lern-Beziehungen ihre Praktikabilität und Konsistenz auch dann beibehalten, wenn die Lehrerhilfen durch Eigeninitiative des lebenslang Lernenden substituiert werden. Und das ist ja unser aller Unterrichtsziel nach dem Motto: "Unsere Schüler sollen Erfolg haben - außerhalb und nach dem Ende der Schule!"

Diese neue Darstellung macht fachübergreifenden und fächerverbindenden Unterricht -wenn nötig- möglich, fordert ihn jedoch nicht durchgehend ein. Sie integriert ebenso das handlungsorientierende Unterrichten, also eine Lehr-Lern-Leistung, die das aktuelle und zukünftige Handeln und Entscheiden des aufgeklärten Laien begründend zu leiten vermag.

Das Besondere an dieser Darstellung liegt in der Gleichwertigkeit der drei Aspektpakete Wissen, Nutzen, Information. Der dazugehörige Realisierungsvorschlag, der sich durch die *Auswahl weniger Inhalte*, die *Zeitvorgabe* und die damit ermöglichte *Kleinschrittigkeit* sowie *Schülermitverantwortung* ergibt, widmet sich dem Thema:

- **Einführung in die Elektrochemie**

Analog lassen sich auch andere Themen bearbeiten:

- Saure und "fade" Lösungen und die Indikatoren
- Weiterverwendung von Kunststoffen und das Entdecken ihrer Eigenschaften
- Zivilisations- und kulturstiftende Wirkungen chemischer Reaktionen.

Das erste Beispiel war Inhalt des Workshops und sollte in diesem Rahmen einem besonders eingehenden praxisgeleiteten Betrachten und Begreifen unterzogen werden.

Das experimentelle Vorgehen gehorcht einer folgerichtigen und insbesondere kleinschrittig konzipierten Ermittlung von Wahrnehmungen und Deutungen. Hierzu wurde ein Motto zugrunde gelegt: **k.l.a.r.**

**k.leinschrittig**  
**l.ogisch**  
**a.ltruistisch**  
**r.ichtig**

Es sei hier der Hinweis erlaubt, dass die vorgestellte Vorgehensweise *keinesfalls* die bestehenden Varianten in der Unterrichtsform und in der Unterrichtsmethode (-verfahren) *ersetzen* soll. Im Gegenteil, Ziel der Vorstellung ist die kritische Auseinandersetzung mit einer *Variante* in der prinzipiellen Konzeption von Chemieunterricht in der Sekundarstufe I (Jgst. 8, 9

u. 10) unter Beibehaltung der grundlegenden Orientierungspunkte:

- Oberste Bildungsziele
- Didaktik und Mathematik der Inhalte
- Bedürfnisse und Fähigkeiten der Schüler und Schülerinnen
- Berufliche Basisanforderungen an Absolventen
- Zeitgeist
- Visionen

Der durch eigene Anstrengung und mit didaktischer Hilfe erzeugte und mittels Reflexion erfahrbar gemachte Kompetenzzuwachs kann mit dem Bild zu den "Unterrichtsprinzipien" überzeugend veranschaulicht werden [5].

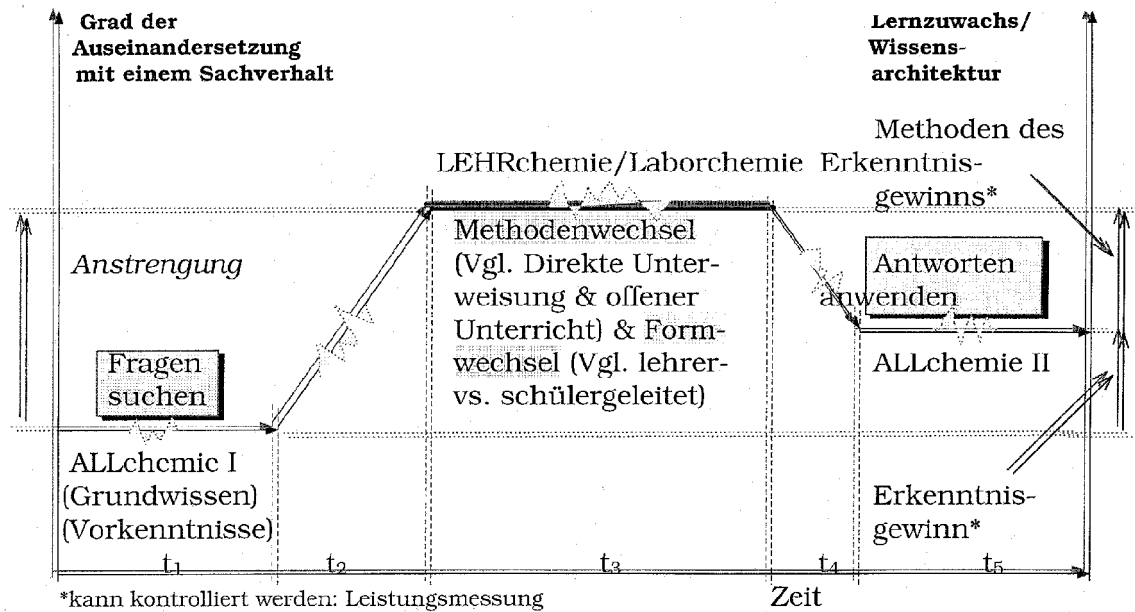
Im Diagramm auf der nächsten Seite, das den einen oder anderen sicher an die graphische Darstellung einer endotherm verlaufenden chemischen Reaktion erinnern mag, wird ein bereits gelerntes Grundwissen (geordnetes Fachwissen als objektive Theorie) sowie ein vorgefundener Vorkenntnisstand (ungeordnetes Fachverständnis als subjektive Theorie) zur Induktion von Fragehaltungen verwendet. Die damit eingeleitete Beschäftigung, z.B. mit den Ursachen für den Betrieb eines elektrischen Verbrauchers (Elektrische Eisenbahn) führt zu unterschiedlicher Lehrer- und Schülerbeteiligung. Sie ist jedoch in jedem Fall mit kognitiver Anstrengung verbunden, mit der Ergründung gesetzmäßiger Zusammenhänge und deren Anwendung, damit auch mit dem Lernen von Begriffen und deren Verwendung, mit dem Erleben von Beobachtungen und deren Deutung, mit dem "Erfinden" von Modellen und deren Verallgemeinerung sowie mit dem Entwickeln von Hypothesen und dem 'handling' von Ideen und Gerätschaften bei deren Überprüfung.

Im weiteren Verlauf dieser Auseinandersetzung werden schul- und jahrgangsstufentypische Ziele erreicht. Traditionsgemäß folgt nun ein Üben (z.B. Hausaufgabenstellung), eine Vorbereitung auf aktuelle Prüfungen (Extemporale, Schulaufgabe, Klausur, Abschlußprüfung) und/oder ein Neubeginn zur Durchnahme eines weiteren Inhalts.

Im vorgeschlagenen Fall wird ein "Rückbau" vorgeschaltet, d.h. der Lehrer geht mit den Schülern auf ein systematisierendes und anschließend auf eine systemisierendes Übersichts-niveau zurück. Auf ihm werden die gefundenen Antworten angewendet und getestet. Ziel ist es, das Aufbauwissen als solches zu identifizieren und seinen Nutzen für aktuelle und fallweise akute Problemlösungen aus dem persönlichen Lebensbereich gewinnbringend und genußvoll (!) anzuwenden. *"Interessen werden dort entwickelt, wo Kompetenzzuwachs erfahrbar ist"* (Baumert, Vortrag in Bremen am 16.9.96). Dieser Weg zum neu erworbenen Leistungsniveau ist nur nach vorangegangener Anstrengung möglich. Er erscheint erst als Kontrast gegenüber dem weniger ertragreichen Vorkenntnisstand und Grundwissen lohnenswert. Er erhellt die Tatsache, dass der Schüler nicht mehr derselbe ist wie vorher, was sich nicht auf die kognitiven Qualitäten reduzieren läßt.

Der Weg muss auch so gegangen werden, dass jederzeit die Option zu neuer Anstrengung erhalten bleibt und eine Vertiefung des Stoffes über den angepeilten Level hinaus erfolgen kann. Für den Normalfall geht jedoch ein aufgeklärter Laie aus dem Unterricht hervor, der dies an sich selbst registrieren und deshalb zu neuer Anstrengung bereit werden kann.

## Unterrichtsprinzipien-Modell



In der Graphik wird deutlich, dass der Niveauunterschied zwischen Grund- und Aufbauwissen dem Wissenszuwachs (im konstruktivistischen Sinne, also als selbsterworbene Wissensarchitektur) entspricht. Der Abstand zwischen dem Niveau höchster Anstrengung und dem Endniveau entspricht der gewonnenen Einsicht in die Methoden, die zum Erwerb dieser Erkenntnis geführt haben. Dies wird in dem Maße erleichtert, als die Methoden vom Schüler, etwa in Schülerübungen, exemplarisch selbst angewendet werden können.

Genau diese Zusammenhänge sollen mit Hilfe geeigneter Verdeutlichungen in der Lehrerbildung, hier besonders in Phase III ins Licht gestellt und der Kritik ausgesetzt werden.

### Ein Stromkreis soll mit den folgenden Elementen konstruiert werden:

Batterie Akku Graphitstab Glasstab  
 Salzlösung Messgerät Glühbirne Bleistift  
 Glimmlampe Krokodilklemmen Brennstoffzelle  
 Solarwaffel Netztrafo  
 Siliciumscheibe Elektromotor Kabel Drähte  
 Elektrische Eisenbahn

Frage: Warum funktioniert die eine Kombination und die andere nicht?

- Spannungsgefälle (Spannungsquelle)
- Kontinuierliche Elektronenwanderung (Stromkreis)
- Widerstände gegen einen raschen Spannungsausgleich (Verbraucher)

Fragen:

Welche Eigenschaften kennzeichnen eine Spannungsquelle?  
 Welche Eigenschaften kennzeichnen einen Leiter 1. Ordnung?  
 Welche Eigenschaften kennzeichnen einen Leiter 2. Ordnung?  
 Welche Eigenschaften kennzeichnen einen Verbraucher?

- Unterschied zwischen  $e^-$ -Mangel und  $e^-$ -Überschuß aufgrund stoffimmanenter Eigenschaften oder äußerem Zwang (Polarisation)

- Freibewegliche Ladungsträger:  $e^-$
- Freibewegliche Ladungsträger: Ionen
- Energieumwandlungsprozesse (Redox-Rkn., Reibung, ...)

Frage: Worin äußern sich diese Eigenschaften konkret und und im Detail, z.B. bei einer elektrochemischen Spannungsquelle?

Im weiteren Verlauf werden diverse Versuchsansätze realisiert, wobei die Frage zu beantworten ist: Welches Verhalten zeigen die Stoffe (Metalle, Nichtmetalle) im Medium Luft bzw. im Medium Wasser?

*Mg-Band, Cu-Blech, Fe-Nagel, Iod-Kristall, Ag-Blech, Chlor in deionisiertem Wasser.*

Im Fall Mg in Wasser kann sehr rasch eine positive Indikator-Reaktion ermittelt werden: Bromthymolblau verfärbt sich von grün nach blau. Eine Blaufärbung der Lösung durch gebildete Kupfer(II)-Kationen läßt sich bereits nach wenigen Stunden feststellen; sie kann durch Zugabe von wenig conc. Ammoniak erleichtert und beschleunigt werden. Bei der Zugabe von Natriumchlorid-Lösung zum Silberansatz ist keine Reaktion ( $AgCl-Nd.$ ) nachweisbar. Die Iodfarbe tritt bald auf; durch Zugabe von  $AgNO_3$ -Lösung lassen sich alsbald über die  $AgI$ -Bildung Iodid-Anionen nachweisen. Noch schneller gelingt der Chlorid-Nachweis im Chlorwasser.

Jedesmal kann direkt oder indirekt gezeigt werden, dass sich im Medium Wasser Elektronentransfer-Reaktionen abspielen. Edle Metalle wie Silber zeigen im beschriebenen Bedingungsrahmen keine Reaktion, womit der Begriff "edel" konkrete Bedeutung erlangt. Die Richtung des Elektronentransfers ist nicht immer gleich und nicht immer gleich stark. Metalle zeigen unterschiedlich deutliche Oxidationsleistungen, Nichtmetalle unterschiedliche Reduktionsleistungen. In jedem Fall bildet sich ein stoffimmanentes Halbzellen-Gleichgewicht heraus, dessen Lage vom resultierenden Verhalten der Atome und Kationen zueinander abhängt. Jeder Stoff besitzt bei standardisierten Bedingungen ein ihm eigenes Gleichgewicht.

Als Schlußfolgerung ergibt sich bei Anwendung der vorhandenen Grundwissensbereiche, dass die Metalle gegensätzliche Aufladung erfahren müssen. Der Fe-Nagel, das Cu-Blech müssen sich demnach aufladen. Metalle erhalten dabei eine negative Ladung, da sich die Elektronen in ihnen anreichern, solange die Kationen in Lösung gehen.

*Bei den Nichtmetallen ( $I_2$ ,  $Cl_2$ ) disproportionieren die Moleküle im Zuge ihrer Reaktion mit Wasser-Molekülen ( $Cl_2 + H_2O \rightarrow HCl + HOCl$ ). Aufgrund der Kompliziertheit beim Vergleich "Me-Nichtme" kann auf die Betrachtung der Nichtmetalle verzichtet werden. Andererseits bietet sich deren Integration in diesen Versuchsrahmen an, wenn die Herleitung der Lösungstensionsreihe und später der Spannungsreihe als ein weiteres Ziel anvisiert wird.*

Aus diesem Vorgang der Oxidationen kann allerdings noch keine Spannungsquelle hergeleitet werden. Es muss hierzu eine weitere Teilversuchsreihe gemacht werden.

*Kupfer-Blech in Silbernitrat-Lösung, Eisennagel in Magnesiumchlorid-Lösung, Zink in Kupfersulfatlösung, Chlorwasser in Kaliumiodid-Lösung, Chlorwasser in Kaliumbromid-Lösung, Zink-Granalie in verd. Salzsäure, Magnesiumband in verd. Schwefelsäure.*

Die jeweiligen Abscheidungsvorgänge werden miteinander verglichen und geordnet. Es gilt, Metall-Kationen scheiden sich dann leicht als Atome ab, wenn sie sich anhand des zugrunde liegenden hohen Abscheidungsdrucks als besonders unedel erweisen: Kupfer an Zink, Silber an Kupfer.

*Die Analogie bei Nichtmetallen und beim System Metall und Säure ( $H_3O$ -Kationen) ist entsprechend der oben genannten unterschiedlichen Bedingungen fallweise zu beachten bzw. nicht mit einzubeziehen.*

Die Folgerungen sind eindeutig. Bei der Kombination von Atomen und Kationen (bzw. von Anionen und Molekülen) unterschiedlicher Metall-Elemente kommt es zu Redox-Vorgängen. Diese ergeben sich in ihrer Richtung und Stärke aus den elektrochemischen Eigenschaften der beteiligten Elemente. Einige Halbzellenkombinationen zeigen sehr effiziente Reaktionen, andere wiederum nicht. In jedem Fall muss jedoch ein "Kurzschluss angenommen werden. D. h. die Elektronen gehen unmittelbar vom negativierten Metall zum gelösten Kation und die Solvatisierung der entstehenden Kationen des weniger edlen Metalls geschieht im Austausch zur Desolvatisierung der Kationen des edleren Metalls aus der Lösung. Diese Vorgänge sind auch durch ihre Energetik charakterisierbar. Edlere Metalle sind als Atome stabiler denn als Kationen. Unedlere Metalle sind als Kationen energieärmer. Der begehrte Zustand wird entlang eines Energiegefälles spontan eingestellt, wenn die Gelegenheit des Elektronentransfers aufgrund eines Kontakts gegeben ist.

Die jetzt aufkeimende Idee besteht in der experimentellen Konstruktion eines längeren Weges für die Elektronen und zusätzlich eines Abschnittes, innerhalb dessen die Energie, welche durch den Stabilitätsgewinn umwandelbar wird, auch gewinnbringend umgewandelt werden kann. Die so konzipierte Versuchsanordnung entspricht im einfachsten Fall dem Entwurf des Daniell-Elements. *In je ein Becherglas wird eine molare Lösung von Zinksulfat bzw. Kupfersulfat gegeben. Zinkstab und Kupferstab werden zugehörig eingetaucht, mit einer leitenden Verbindung (Kabel mit Krokodilklemmen) über einen Elektromotor oder ein Glühlämpchen oder ein Messgerät*

*(Ampere- oder Voltmeter) miteinander verbunden. Am Verbraucher rührt sich nichts. Die Fehlersuche führt zur nötigen Verbindung der beiden Becherglasinhalte über einen Stromschlüssel (KCl-Lösung).*

Jetzt ist Stromfluss interpretierbar: über den laufenden Motor, das glimmende Lämpchen, den Zeigerausschlag. Mit diesem Schritt ist die elektrochemisch funktionierende Spannungsquelle entdeckt und es kann an ihrer Optimierung gearbeitet werden. Hierbei ist beim Arbeiten vor Ort sehr wichtig, diesen Abschnitt gebührend herauszuarbeiten. Ziel ist es ja, Sie erinnern sich, Kompetenzzuwachs erlebbar zu machen.

Im weiteren Verlauf werden anhand von Teilversuchsfolgen Lösungen und Elektroden ausprobiert, die in ihrer Kombination immer noch bei ca. 1,0 bis 1,5 V Spannung liegen, die aber hinsichtlich Materialkosten und Verschleißbarkeit ("Trockenelement") wirtschaftlich interessanter und alltags-tauglicher sind als das gebildete galvanische Element aus Zink und Kupfer oder gar ein anderes aus Zink und Gold.

*Auf diesem Wege wird durch den Austausch von  $CuSO_4$ -L. durch  $NH_4Cl$ -L., dann von  $ZnSO_4$ -L. durch dieselbe L. und abschließend von Kupfer durch Kohlenstoff das Leclanché-Element kreiert. Das Aufsägen einer Taschenlampen-Batterie läßt diese Bauteile tatsächlich erkennen. Die Diskussion für die Anwesenheit von Füllmaterial und Braunstein kann anschließend folgerichtig begründet werden.*

Am Ende dieses Schrittes kann erneut der Kompetenzzuwachs, bezogen auf das trial-and-error-Verhalten am Anfang verdeutlicht werden.

Der Weg durch die Elektrochemie ist allerdings noch nicht zu Ende. Die Diskussion um größere Spannungen, wiederverwendbare Akkus und letztlich die elektrochemische Nutzung von Lichtenergie führen fast automatisch zu einem analogen kleinschrittigen Bearbeiten der Problemlage.

So kann jetzt mit Hilfe der Batterie Wasser (verd. Sre) im Hofmannschen Zersetzungsapparat in Wasserstoff und Sauerstoff elektrolysiert werden. Beide Gase können als Knallgasreaktion wiedervereinigt werden oder gewinnbringend in eine Brennstoffzelle eingebracht werden. Die didaktische Reduktion des Halbleiterproblems und die Erklärung des Verhaltens von dotiertem Si in Solarwaffeln führen zu einem Schlußversuch.

*Auf deduktivem Wege wird der "Hofmann" mit einer 4.5 V-Waffel bei Sonnenschein betrieben.*

Die Lichtquelle Sonne ist auch im Modellversuch dem Licht des OH-Projektors vorzuziehen!

- [1] Haas, A.: *Unterrichtsplanung im Alltag*, Roderer, Regensburg 1998
- [2] Vgl. Anton, M. A.: *Chemieakzeptanz und Didaktik. Wie hat Chemieunterricht Zukunft?*; in: Chem. Sch. 45 (1998) 3, 180-183, 180.
- [3] Vgl. Mandl, H.; G. Reinmann-Rothmeier: *Unterrichten und Lernumgebungen gestalten*; Forschungsbericht Nr. 60, Empir. Päd. u. Päd. Psychol., LMU-München 1995.
- [4] Vgl. Anton, M. A.: *Die Reaktionsenthalpie - Woher kommen die Zahlenwerte?*; in: Chem. Sch. 45 (1998) 4, 207-211, 211.
- [5] Vgl. auch: Anton, M. A.: *Die "Selbstverständlichkeit" der Chemie und die "Unverständlichkeit" des Chemieunterrichts - zur Überwindung eines Dilemmas*; in: Chem. Sch. 45 (1998) 6, 384-385.