

Verein zur Förderung des physikalischen und chemischen  
Unterrichts

56. Fortbildungswoche an der Universität Wien  
25.2. bis 1.3.2002

Experimentierpraktikum Chemie  
Anregende chemische Experimente für die Schule  
am 28.2. und 1.3.02 um 9 Uhr im Praktikumssaal  
des Inst. f. Anorganische Chemie 1. Halbstock

Dr. H. Flandorfer - Mag. D. Hejze – Assprof. Dr. E. Hayer

Gespräch mit LehrerInnen  
**Was können SchülerInnen im experimentellen  
Chemieunterricht lernen und was nicht?**

Dr. Michael A. Anton, LMU München



**“Gedanken ohne Inhalt sind  
leer, Anschauungen ohne  
Begriffe sind blind” (I. Kant)**

**“Seinen Kopf nicht anfüllen,  
sondern stärken”  
(G. Ch. Lichtenberg)**

## 1. Hat die Begeisterung für Chemie etwas mit den chemischen Experimenten zu tun?

Unter dem oben gezeigten Foto (Gaertner) aus den aktuellen IPN-Blättern (18(2001)4,3) liest man die Aufforderung: *“Naturwissenschaften mit Begeisterung: So sollte es wieder werden.”*

Blickt man in die Gesichter der hier experimentierenden Kinder, so lassen sich Begeisterung und Konzentration, mit der sie am Werk sind, nicht leugnen.

Gleichzeitig muss zugegeben werden, dass es zur Darstellung einer solchen wünschenswerten Situation schon älterer Fotos bedarf. Auf gleiche Weise zutreffende zeitgenössische Fotografien sind nicht so ohne weiteres zu erhalten.

Was ist geschehen, dass wir uns so sehr Gedanken machen müssen über die Qualität des Chemieunterrichts, über die Begeisterungsfähigkeit unserer Lehrer und Lehrerinnen aber auch über die Begeisterbarkeit der Schülerinnen und Schüler.

### **Es scheint, dass sich Begeisterung für chemische Experimente und Interesse für Chemie nicht gegenseitig zu bedingen!**

Hat der Chemieunterricht mit der Chemie in Forschung und Wirtschaft nicht Schritt gehalten oder mit den gesellschaftlichen Bedürfnislagen oder mit den Erkenntnissen über das Lehren und Lernen?

Ich möchte die Behauptung aufstellen, dass der **Chemieunterricht** sich gegenüber allen drei Bereichen (Fachwissenschaft und Wirtschaft, Gesellschaft und Lehrwissenschaft) als zu **wenig beeinflussbar** erwiesen hat. Und dass dies eine gewichtige Ursache für die aktuellen Probleme darstellt, insbesondere

- für die Anwendung moderner lehrwissenschaftlicher Erkenntnisse im Rahmen der Lehrerbildung,
- für die Akzeptanz von Naturwissenschaft und Technik in allen Bevölkerungsschichten,
- für die Kritik an der Notwendigkeit von Chemie als Schulfach sowie
- **für den Umgang mit dem Experiment durch den Lehrer.**

## 2. Welche Rolle spielt das Selbstverständnis des Chemielehrers für den Einsatz von chemischen Experimenten?

Die Definition des Chemielehrers allein über seine fachwissenschaftliche Kompetenz, insbesondere auf der Ebene der weiterführenden Schulen ist heute noch eine limitierende

Größe beim Ausrechnen von Chancen für die Verbesserung von Chemieunterricht und Lehrerbildung (vgl. Gutachten des Wissenschaftsrates 2001).

Ich behaupte, dass eine **Verbesserung von Lehrerbildung** und Chemieunterricht erst dann möglich sein wird, wenn

- der fachliche *und* persönlichkeitsorientierte Erziehungsauftrag des Lehrers und
- der *Auftrag an den Schüler, sich anstrengungsbereit lernend zu bilden* von Lehrer *und* Lerner akzeptiert und aufeinander abgestimmt werden kann.

Ich stelle überdies die Behauptung auf, dass eine **konzertierte Lehrerbildung** und damit Unterrichtsführung über alle Schultypen hinweg erst dann gelingen kann, wenn

- die Ausbildungsgänge der sich die Vertreter aus Fach, Fachdidaktik und Erziehungswissenschaft sowie aus Hochschule und Schule zu ihrer gemeinschaftlichen Verantwortlichkeit für die Lehrerbildung bekennen,
- unterschiedlichen Lehrämter bedarfsgerecht aufeinander abgestimmt werden,
- die betreffenden Ausbildungsabschnitte aufeinander bezogen werden,
- der direkte Schulbezug in Form von Praktika und praxisorientierten Vorlesungen und Seminaren theoriegeleitet *und* frühzeitig erlebt werden kann,
- Fortbildung kontinuierlich und dabei fach- *und* lehrwissenschaftlich ausgestaltet wird,
- die schuljährliche Portionierung von Schulentwicklung zugunsten eines mehrjährigen Entwicklungsplanes überwunden wird und
- **fachspezifische Problemlagen ins Forschungsvisier gelangen!**

### **3. Herrscht bezüglich der chemischen Experimente ein ausreichendes Problembewusstsein?**

#### **3.1 IST und SOLL**

Betrachtet man den Unterricht vor Ort in seiner gesamten Vielfalt, unterzieht man die klassischen wie die modernen Konzepte an Lerninhalten, Arbeitstechniken, Lehr- und Lernstrategien sowie Lehrer-Schüler-Interaktionen einer genauen Analyse, so lässt sich erkennen, dass sich Chemieunterricht mit wenigen Ausnahmen unverändert an herkömmlichen Methodenmustern orientiert. Diese basieren wiederum auf tradierten Vorstellungen von dem was Unterricht ist. Und das ist das, was man als Schüler selbst erlebt hat.

Und es kann behauptet werden, dass erst dann ein **Wandel und eine Neuorientierung in der Unterrichtung** unserer Kinder und Jugendlichen im Fach Chemie gelingen werden, wenn

- eine Kritik der bestehenden Unterrichtsmethodik erfolgen kann, die von den Betroffenen reflexiv und aktiv unterstützt wird,
- lehrwissenschaftliche Unterrichtsforschung als Grundlage für Änderungen akzeptiert und von den Praktikern mitgetragen wird,
- Lehrer- und Schüler sich zugleich als Lernende und Lehrende begreifen,
- die Expertisen der Lehrer gleichermaßen aus den Kompetenzen aus dem Fach als auch aus den Erziehungswissenschaften resultieren und
- **das chemische Experimentieren als eine besondere Bürde unseres Fachunterrichts erkannt wird.**

Damit wäre ich bei zentralen Fragen:

Welche unterrichtliche Effizienz besitzt das chemische Experimentieren?

Wozu werden Lehrer- wie Schülerexperimente letztlich eingesetzt?

Nach welchen Bedingungen werden sie ausgesucht?

Unter welchen Bedingungen finden sie statt?

In welchen Formen tauchen Experimente im Chemieunterricht auf?

Was ist eigentlich ein Experiment?

### **3.2 Empirie zwischen Versuch und Experiment und Chemieunterricht**

Ich möchte einige Aspekte des **Experimenteinsatzes im Chemieunterricht** näher beleuchten.

Das Experiment ist eine Variante aus sechs methodischen Komponenten („Bedingungskomplexen“):

- Berufliche Rahmenbedingungen,
- **„Lerninhaltbehandlung und Zielfindung“**
- Orte, Aktions- und Sozialformen,
- Arbeitstechnik,

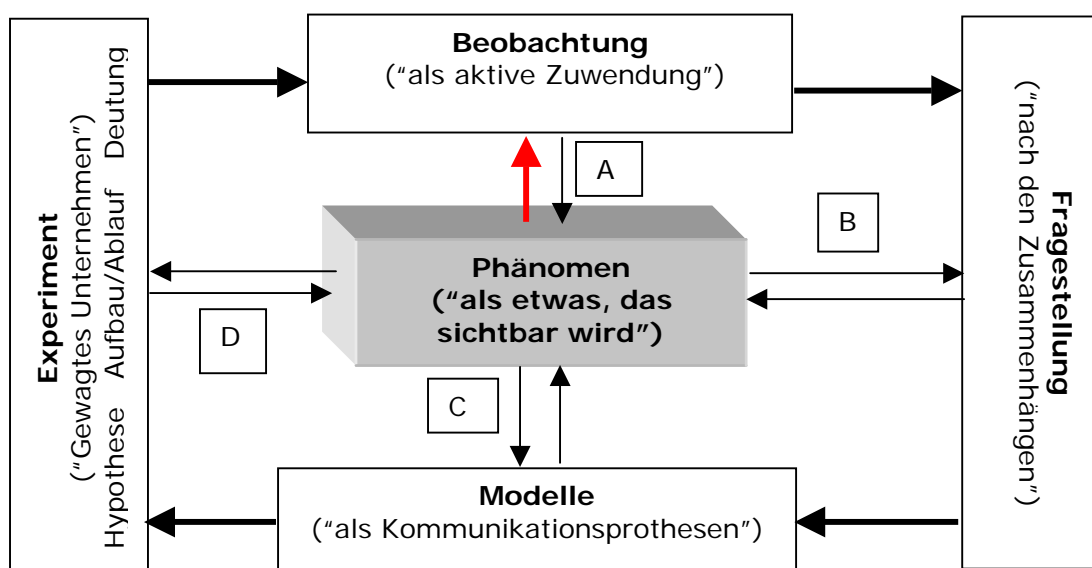
- Lernpsychologie und
- Affektivität der Lehrer-Schüler-Beziehung.

Je eine Variante aus den Komponenten bestimmen zusammen einen „Methodenbaustein“! Aus dem „pool“ „Lerninhaltbehandlung und Zielfindung“ stammt die Variante „empirisches Vorgehen“.

Es handelt sich also beim experimentellen Teil der Unterrichtskonzeption nur um eine methodische Variante von vielen, allerdings um eine sehr bedeutende. Da es sich beim Fach Chemie um eine empirische Wissenschaft handelt, ist das Experiment wesensbestimmend für den chemisch-naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn.

Das könnte bedeuten, dass jede Form experimentellen Arbeitens im Chemieunterricht von Vorteil ist und gerade diejenigen Erfahrungen ermöglicht, mit denen die Welt der Stoffartänderungen gedanklich (!) erschlossen werden kann.

- **Woran liegt es aber, dass das Stundenmerkmal „viele Experimente“ nicht gleich zu setzen ist mit dem der „hohen Unterrichtseffektivität“?**
- **Welche zusätzlichen Bedingungen für den erfolgreichen Experimenteinsatz sind in der Schule zu beachten?**
- **Worin besteht der große Unterschied zwischen dem wissenschaftlichen Experimentieren und den Experimenten des Lehrers bzw. dem Versuch im Schülerpraktikum?**



Anhand der **oben ausgeführten Skizze** kann sehr schön aufgezeigt werden, dass entgegen der Pflege des großen Kreislaufs eines naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns von der Beobachtung des Phänomens über die Fragestellung und einer wie auch immer gearteten Modellvorstellung (vom Teilchen-Modell bis zur Orbitaltheorie), die über eine Hypothesenbildung zum Entwurf eines Experiment(ansatzes) führt, aus dem die gemachten Erfahrungen erneut Fragestellungen provozieren und in eine mögliche Korrektur der Modellvorstellung münden usw., primär zwischen dem Phänomen und der Beobachtung bzw. der Fragestellung bzw. dem Modellentwurf bzw. dem fertigen Experiment hin und her gependelt wird, insbesondere bei B (*Fragenbildung*) und C (*Prinzipienerkennung*) (s. o.).

Natürlich müssen die Einzelwege (A bis D) vorgestellt und auch geübt werden; es darf aber nicht übersehen werden, dass es im Chemieunterricht letztlich auf die Vermittlung des großen Kreisprozesses ankommt. Von ihm aus darf dabei das Phänomen nie aus dem Auge verloren werden. Stets muss der Rückbezug auf es möglich sein.

#### **4. Das Experiment als „gewagtes Unternehmen“!**

Grob lassen sich die **fachorientierten Einsatzziele** von Experimenten (vornehmlich als Lehrerdemonstration) wie folgt differenzieren:

1. Motivation
2. Wege zur Objektivierung durch Demonstration (Wahrnehmung und Beobachtung der Wirklichkeit)
  - 2.1 Konfrontation (Verfremdung): Mischen von Ammoniumthiocyanat mit Bariumhydroxid u. a.
  - 2.2 Historischer Nachvollzug: Herleitung und Widerlegung der Phlogiston-Theorie nach STAHL u. a.
  - 2.3 Simulation großtechnischer Verfahren: Kontaktverfahren über Pyritröstung und katalytische Oxidation von Schwefeldioxid u.a.
  - 2.4 Prinzipien: Neutralisationsreaktionen als Titrationsreaktionen mit diversen Säuren und Laugen unter Verwendung unterschiedlicher Indikatoren (Farbindikatoren, Leitfähigkeit u. a. ); u. a.
  - 2.5 Modell: Reaktion von schwefelsaurer Kaliumdichromatlösung mit Wasserstoffperoxid (w=30%), wobei unter Verfärbung nach Grünbraun (Cr(VI)-oxid) Sauerstoff freigesetzt wird (Glimmspanprobe) und das so lange bis die ursprüngliche orange Färbung wieder auftritt (nach ca. 3-5 Min): Das Kaliumdichromat stellt *modellhaft*(!) den Katalysator dar, der während der Reduktion von Wasserstoffperoxid an der Reaktion teilnimmt und anschließend wieder unverändert aus der Reaktion hervorgeht.
  - 2.6 Denkschritte: Entwicklung der Galvanik von der Halbzelle, über den „Kurzschluss“ (Kombination von Kationen edler Metalle mit Atomen unedler Metalle: Zink in

- Silbernitratlösung) und das Galvanische Element (DANIELL-Element) bis zur Batterie (LECLANCHÉ-Element) u. a.
- 2.7 Komplexitätsstufen: Neutralisationstiteration, Konduktometrie, Redoxitrationen als quantitative Analysemethode oder: Säure als sauer schmeckendes Agens, Säure als Protonendonator, Säure als LEWIS-Säure u. a..
- 2.8 Gegenüberstellungen: Elementhauptgruppen I und VII oder: Säuren und Basen oder: verdünnte und konzentrierte oxidierende Säuren (Schwefel-, Salpetersäure) u. a.
- 2.9 Herstellen und Erweitern von Systematiken („Schlüsselversuche“): Erweiterung des Oxidationsbegriffs durch Vgl. von „Magnesium brennt in reinem Sauerstoff“ und „Magnesium brennt in reiner Chloratmosphäre“ --> Oxidation als Elektronenabgabe macht von der Beteiligung von Sauerstoff bei einer Redox-Reaktion unabhängig oder: Oxidierende Wirkung von heißer konzentrierter Schwefelsäure gegenüber Kupfer führt zur Einführung einer fiktiven Ladung für das Schwefelatom im Säuremolekül (Oxidationszahl) um die Oxidationsdefinition erweiternd beizubehalten u. a.
- 2.10 Computerassisted Experiment (CAE): Verwendung der *Chembox*

### 3. Wissenschaftspropädeutik

- 3.1 Modellbildung: Teilchenmodell: Einfache Versuche zu den Größenunterschieden (Diffusion von Wasserstoff-Teilchen durch eine Tonwand), Massenunterschieden (Wiegen von Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff in einem gleichen Volumen) und Unterschieden in den gegenseitigen Anziehungskräften (Aggregatzustände und unterschiedliche Siede- und Schmelzpunkte) zeigen, dass schon vor der Einführung des Atom- und Molekülbegriffs noch frühzeitig eine differenzierte Betrachtung des Diskontinuums erfolgen kann u. a.
- 3.2 Hypothesenbildung (induktives Vorgehen): mehrere (!) Zersetzungsreaktion von binären Verbindungen führen zum Begriff der Analyse (Dissoziation) oder: mehrere Verbrennungsreaktionen an der Luft führen zum Begriff der Oxidation und der Oxide als sauerstoffhaltige Produkte einer Vereinigung eines Elements mit Sauerstoff
- 3.3 Hypothesenprüfung (deduktives Vorgehen): „Bei der Vereinigung von Natrium mit Chlor müsste es sich nicht nur um eine Synthesereaktion handeln, sondern auch noch um eine Redox-Reaktion, die zur Bildung von Ionen führt, worauf das Synthese-Experiment und der Anionen- und Kationennachweis einer Probe aus der Lösung des Produkts in Wasser erfolgen oder: Die Feststellungen, dass in einer Natriumchlorid-Lösung und einer Salzsäure-Lösung zwar beide Male Chlorid-Ionen nachweisbar sind, aber nur einmal eine Indikatorreaktion nach sauer erfolgt, müssen aufgrund der Annahme, dass Chlorid-Ionen nur ein Proton übriglassen können und dieselben frei in wässriger Lösung niemals vorkommen können, den

Schluss zulassen, dass Oxonium-Ionen sich bilden müssen, da ein anderer Partner als das Wasser-Molekül für die Protonen nicht in Frage kommt u. a.

4. Systemische Betrachtungsweisen: Beim Vergleich der Prinzipien „Säuren sind Protonendonatoren“ und „Reduktionsmittel sind Elektronendonatoren“ lässt sich erkennen, dass die Transferreaktionen von Elementarteilchen zu prinzipiellen Klassifizierungen der Vielzahl möglicher chemischer Reaktionen herangezogen werden können oder: Die Reaktion von konzentrierter Salpetersäure mit Kupfer führt zu einem Gasgemisch, das sich beim Auffangen über Wasser als Sperrflüssigkeit trennt. Diese Feststellung kann bei Durchführung des Versuchs und detaillierter Diskussion von Schülern mit Anfängerwissen hergeleitet werden und durch den Folgeversuch „Aufgefangenes Gas wird an der Luft braun) bestätigt werden u. a.

Konzentriert man sich besonders auf das Schülerexperiment, wie es in der Regel im Mittelstufenunterricht auftritt, so treten die **didaktische Aspekte** hinzu:

1. Entwicklung instrumenteller Geschicklichkeit (Risikominimierung)
2. Schulung aktiver Wahrnehmung (Beobachtung)
3. Ermitteln von Bedingungen für die Gültigkeit von Versuchsergebnissen (Geltungsintervall)
4. Reproduktion und Reorganisation von Arbeitsvorschriften (Einstellung von latenten Leistungssituationen)
5. Partnerarbeit bei der Durchführung und Auswertung der Experimente (Beherrschung von Schülerzahlen)
6. Kreative Entwicklung von Fragestellungen mit experimenteller Überprüfung durch den Schüler.

Die weit verbreiteten klassischen, häufig suboptimalen Lösungen dieser Aufgaben und deren traditionelle Vermittlung innerhalb der Lehreraus- und fortbildung haben zu einer gewissen Betriebsblindheit und mangelnden Hinterfragung ihrer Auswirkungen geführt.

## **5. Gibt es Untersuchungsansätze für eine sichere Bestimmung des Experimentproblems?**

Mit den nationalen und internationalen Untersuchungen zur Effektivität des naturwissenschaftlichen Unterrichts (TIMSS und PISA) wurde diese Tradition gestört. Es ergibt sich nicht nur die Notwendigkeit, sondern zugleich die Möglichkeit einer kritischen Analyse der besagten Komplexität und ihrer Auswirkungen.



Zweifellos erfordert ein nachhaltiges Vorgehen eine Bestandsaufnahme. Sie darf sich nicht auf die Feststellung der **aktuellen Experimentiersituation** an unseren Schulen beschränken. Auch nicht auf die Art und Weise, wie die **Vermittlung des schulrelevanten Experimentierens** in der ersten und zweiten Phase der Lehrerausbildung erfolgt. Sie muss vielmehr die **lehr- und lernpsychologischen Bedingungen** ins Auge fassen, die beim Experimenteinsatz zum Tragen kommen. Sie üben auf die Effektivität des Experimenteinsatzes wesentlichen Einfluss aus.

Mit ihnen haben wir nicht nur originäre chemiedidaktische Forschungsziele vor uns. Es können auch neue Maßnahmen zur Verbesserung des Chemieunterrichts begründet und auf den Weg gebracht werden (vgl. Anton 1998):

- **Motivationsfalle**
- **Abstraktionsfalle**
- **Kontextfalle**

Im Folgenden werden diese als „Falle“ bezeichnete lehrwissenschaftlichen Untersuchungsziele genauer beschrieben und erläutert.

## **5.1 Motivationsfalle**

Der Einstieg in ein Thema aus dem Chemieunterricht, insbesondere im Bereich der Mittelstufe geschieht gerne über die Demonstration eines Versuchs. Natürlich ist der Lehrer bemüht, den Effekt des Experiments besonders eindrucksvoll zu inszenieren. Die Wirkung ist zielgerichtet und soll in aller Regel Staunen beim Zuschauer hervorrufen.

Landläufig herrscht die Auffassung, dass sich dies fördernd und vor allem nachhaltig auf die letztlich gewünschte Fragehaltung auswirkt. Sie wird vom Lehrer häufig in ihrem Vorhandensein vorweg genommen: „Und nachdem wir das alles beobachtet haben, fragen wir uns natürlich, weshalb ... !“ Die Erfahrung zeigt immer wieder, dass sich dieser vermeintlich methodisch geschickt plazierte Schachzug nicht als Initialzündung, sondern als Rohrkrepiere erweist. Das geschieht allerdings ohne böses Zutun der Schüler. Es ist ein immanenter Effekt des Staunens.

Nach Rieder ist Staunen durch „Passivität, Ungerichtetheit, Gefühle und Unwillkürlichkeit“ gekennzeichnet. Fragen dagegen besitzt die Merkmale „Aktivität, Gerichtetheit, Verstand, Willkürlichkeit“ (Rieder, O.: Die Entwicklung des kindlichen Fragens; 1968, 14)! Somit gehen die beiden Haltungen nicht nahtlos ineinander über, sondern sie schließen sich gegenseitig aus! Staunen hat eine verblüffende Ähnlichkeit mit dem, was wir gerne als Unterhaltung umschreiben. Sie verlangt primär nach quantitativer und qualitativer

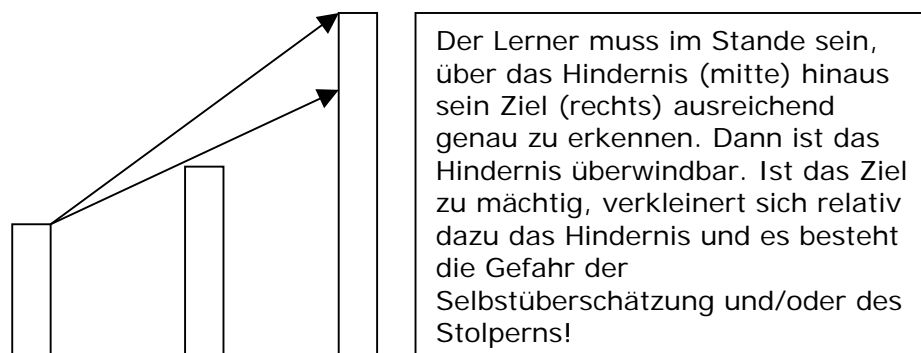
Ausweitung. Un das besonders bei Zuschauern, die am gezeigten Geschehen keinerlei eigenen Anteil haben, eben vollständig passiv sind.

Man kennt im Rahmen der Chemie diese Veranstaltungen, in denen die ganze Chemie“ spektakulär von der Bühne herab kurzweilig und eindrucksvoll vorgemacht wird. Man möge sich selbst einen Reim machen auf die tatsächlich erzielbaren Show-Effekte solcher Darbietungen.

Für unsere Unterrichtssituation bedeutet dies, dass der Weg vom Staunen zum Fragen durchaus der richtige ist, aber nicht der automatische. Der Lehrer muss den Wechsel besonders behutsam ausgestalten. Dies geschieht durch Beobachtungsaufträge, durch Erinnerungen an schon Bekanntes und durch das Aufzeigen möglicher Unstimmigkeiten, die aufgrund der unvollständigen Wissensausrüstung der Schüler nicht so ohne weiteres beseitigt werden können.

Das bedeutet, dass die ungeordneten Vorkenntnisse und das schon systematisierte Grundwissen zur Chemie aktiviert werden müssen. Es gilt, nach Adaptoren zu suchen, mit denen die erforderlichen Neuinformationen an das vorhandene Wissen angegliedert werden können. Das macht allerdings nur Sinn, wenn dieser Lernprozess für den Lerner eine Bedeutung hat und wenn seine eigenen Lernstrategien diesen Prozess koordinieren können.

Der Weg vom passiven Staunen zum aktiven Fragen erhält sozusagen über den vorstellbaren Nutzen seinen entscheidenden Impuls. Mit ihm lassen sich die erforderlichen Anstrengungen (aus Konzentration, Kraftaufwand und Verzicht) begründen. Erst wenn Grundwissen, Information und Nutzen der in Aussicht gestellten Erkenntnis miteinander verknüpft werden können, ist der Weg zur Lösung des kognitiven Konflikts offen und kann vom Lerner unter Anleitung des Lehrers zielorientiert gegangen werden.



Die gemeinsame Schnittmenge der drei Felder beschreibt die Motivation. Sie kann auf diese Weise organisiert, mit hoher Effizienz ausgerüstet und als extrinsischer Stimulus in den Unterricht eingebracht werden.

Konzentriert sich der Lehrer allerdings nur auf das Staunen und dann auf die Erklärung des Sachverhaltes ohne das gerade beschriebene Zusammenspiel der Faktoren der Motivationsgenese näher in Betracht zu ziehen, so wird der Lernprozess behindert und der Lerner wird in den Zustand des „rote learning“, des gedankenlosen Memorierens gedrängt.

Er tappt in die „**Motivationsfalle**“. Sie ist im Chemieunterricht ganz besonders aktuell, da wir viele Möglichkeiten des Auslösens von Staunen besitzen und damit häufig das Einnehmen der Fragehaltung erschweren, wenn nicht ganz verhindern.

Geschieht dies regelmäßig, so gerät der Mangel an Sinnhaftigkeit der Lernarbeit zum limitierenden Faktor für die *Be-geisterung*(!) für das Fach Chemie. Beim Anfänger beginnt der „count down“ für die ursprünglich große Freude auf und über das Fach Chemie!

Wir müssen sowohl im schulischen Fachunterricht als auch in der Lehrerbildung, im eigenen fachdidaktischen Unterricht mehr für die Be-Geisterung sorgen, für das Mit-Geist-Ausrüsten der Inhalte und ihre lernerische Beschäftigung.

## 5.2 Abstraktionsfalle

Mindestens seit den ersten Untersuchungen von Hans-Jürgen Becker und Günter Jünger 1982 zu „Schülereinstellungen und –leistungen im Unterrichtsfach Chemie“ wissen wir von der Unbeliebtheit unseres Schulfaches und von den Problemen, die viele Schüler mit seinen Inhalten haben. Seit dieser Zeit hat es über 70 weitere Bestätigungen dieser empirischen Forschungsergebnisse gegeben. Als Folge der beeindruckend gleichlautenden Resultate gab es eine Vielzahl von programmatisch dargestellten didaktischen Strömungen, die sich um eine Korrektur dieses unguten Zustandes bemühten. Schlagworte waren „PC-Chemie (Kappenberg), Miniaturisierung und Megascaling (Obendrauf), Umweltchemie (Proske, Wiskamp), Projektionschemie (Full), Projektchemie (Münzinger), Kreislaufchemie (Schmidkuntz), Strukturchemie (Barke, Sauermann), Alltagschemie (Woest, Pfeifer), Gefahrstoffchemie (Pfeifer), Schauchemie (Roesky), Konsumchemie (Becker) uvam.. Alle Trends haben den Chemieunterricht mehr oder weniger nachhaltig beeinflusst und den Fachzeitschriften charakteristische Themenhefte beschert. Bis heute sind sie spürbar und werden immer noch von neuen Strömungen abgelöst. Am aktuellsten ist sicher der Begriff der „Kontextchemie“ (Ralle, Parchmann). Er wird uns auch nicht recht viel weiter bringen als das den bisherigen Schwerpunktsetzungen gelungen ist.

Wieso klingt das so fatalistisch? Keines der Programme hat es vermocht, auch nur ein wenig an der Basisproblematik zu verändern.

Insbesondere die intensive Auseinandersetzung mit der Verfeinerung und Neuentwicklung von Experimenten für sämtliche Jahrgangsstufen in allen denkbaren Schularten und für die gesamte Vielfalt der föderalistischen Lehrpläne in Deutschland hat sehr viele Hoffnungen geweckt und bis heute nahezu nichts Endzeitliches bewirkt. Es lässt sich nicht mehr bestreiten, dass die Anzahl von guten, durchdachten, sicheren und überzeugend ablaufenden Versuchen für jedes denkbare Unterrichtsthema ausreichend ist; dass es also nicht am Versuchsangebot liegen kann, wenn die gewünschten qualitativen Verbesserungen dennoch ausbleiben. Auch die gerätetechnische und finanzielle Situationen der Schulen lassen sich nicht zur Verantwortung ziehen.

Immer wieder haben empirische fachdidaktische Untersuchungen ergeben, dass den Schülern das Betrachten von Experimentverläufen ein wichtiges Anliegen sind, das den Chemieunterricht für sie attraktiv erscheinen lässt. Dagegen werden die Auswertung der Experimente und die Er- und Verarbeitung von Theorie und Modellvorstellungen mehr oder weniger abgelehnt und in ihren Bedeutungen nicht gewürdigt (Gräber 1996).

Wenn mit bedacht wird, dass es kein Fach gibt, welches mit zunehmender Unterrichtspräsenz immer mehr abgelehnt wird, dann sollte nicht mit dem bornierten Unverständnis der Schüler argumentiert, sondern viel eher nach tieferen Ursachen gesucht werden.

Dies äußert sich u. a. in der Hinwendung noch weniger Didaktiker zu den Ergebnissen der Lehr- und Lernpsychologie, zur Pädagogischen Psychologie, zur Hirnforschung und zu den Kognitionswissenschaften.

Ein dünnes Umfeld der modernen Fachdidaktik beginnt zumindest mit der Zitation von bedeutsamen Forschern wie Piaget, Weinert, Mandl, Case, Roth, Singer, Prinz, Wagemann, Wildt u. a.. Das lässt zumindest hoffen. Insbesondere weil die Chemiedidaktiker auf einen wichtigen Vorreiter dieser Unterrichtsanalyse zurückgreifen können: auf Heinrich Stork mit seiner Schrift "Zum Chemieunterricht in der Sekundarstufe I, 1988.

Worum geht es also bei der „Abstraktionsfalle“?

Schüler müssen selbst lernen und die Entwicklung des hierzu erforderlichen Denkapparats und der möglichen Interessengenesse ist zum Zeitpunkt des in der Regel spät einsetzenden Chemieunterrichts (in Bayern mit der Jgst. 9 und bei einem Schüleralter von ca. 15 Jahren) noch nicht vollständig ausgeformt. Nach Piaget und Lawson (vgl. Stork 1988, S. 16) sind die Abstraktionsfähigkeiten noch nicht in dem Maße voraussetzbar, wie wir sie für die sichere Interpretation von experimentell dargestellten Phänomenen auf der submikroskopischen Ebene so gerne und möglichst früh einsetzen

möchten. Im Gegensatz hierzu sind die Fertigkeiten im Selbstmachen sowie die Beobachtungs- und Formulierungsgabe ertragreich ausgebildet. Allein der gewöhnliche Unterricht in Chemie stellt –man möchte sagen traditionell- mehr auf Deutung denn auf Beschreibung ab. Das erweist sich für den Anfangsunterricht als prekär.

Das, was Schüler können, nämlich Durchführen, Beobachten und Beschreiben, wird weniger bis garnicht belohnt. Dagegen wird das, was sie nur schwer und unvollständig beherrschen, das modellhafte Interpretieren auf der Teilchenebene, die abstrakte Sicht der Ursachen und Zusammenhänge chemischer Prozesse und deren symbolische Darstellung auf besonders eindringliche Weise eingefordert und sanktioniert.

Man kann als Beleg nicht nur die Unterrichtsführung selbst beobachten, sondern –was schwergewichtiger ist- ebenso die Fragen und Bewertungen in schriftlichen Prüfungen aus den besagten Jahrgangsstufen. Stets ist das Formulieren von Gleichungen zu dieser Zeit wertvoller und punktwirksamer als etwa die Skizze eines Versuchsaufbaues oder die in eigene Worte gefassten Beobachtungen. Wenn solche Fragen überhaupt gestellt werdenso eignen sie sich hinsichtlich ihrer Bepunktung nicht als „Sechser- oder Fünferbremse“!.

Es erscheint logisch, dass Schüler, die solchen Kriterien unterworfen sind (man kann von  $\frac{2}{3}$  bis  $\frac{3}{4}$  ausgehen), nach denen sie ihr Können nicht gewinnbringend einsetzen können und mit dem Geforderten nicht zu Rande kommen, das Fach als solches ablehnen müssen. Da es wie eine Konditionierung anmutet, ist auch zu verstehen, weshalb sich eine solche Entwicklung als extrem korrekturresistent erweist. Je länger dieser Einfluss anhält, desto deutlicher fördert er die Aversion, so dass die oben zitierte Erscheinung, wonach die Abneigung im Laufe der Chemiejahre zunimmt, zwangsweise ihre Erklärung erhält.

Es soll an dieser Stelle auch nicht verschwiegen werden, dass diese Problemlage einen unmittelbaren Einfluss ausübt auf die Nachwuchsfrage chemierelevanter Berufe in Forschung und Wirtschaft!

Die geschilderten Zusammenhänge werden durch die Feststellung bestätigt, dass dasselbe Problem nicht mehr zu finden ist, wenn der Einstieg in die Chemie später erfolgt. Es droht sich aber extrem zu verschärfen, wenn bei Beibehaltung des beschriebenen Prinzips der Unterricht noch früher erfolgt.

Was ist zu tun um ein Zuschnappen der „Abstraktionsfalle“ zu vermeiden?

Die Schüler dürfen nicht mit dem Phänomen „geködert“ werden, welches sofort nach seinem Ablauf durch die abstrakte Auswertung in den bedeutungslosen Hintergrund

gerät. Es darf der Eindruck nicht forciert werden, wonach es auf die kritische Versuchsbetrachtung weniger ankäme als auf eine Deutung auf der atomaren Ebene.

Schüler des Chemieanfangsunterrichts müssen behutsam mit den Effekten zusammen geführt werden können, die für sie am intensivsten aufgearbeitet werden kann. Hierzu eignen sich am Anfang, etwa während des ersten Schuljahrdrittels speziell Versuche in der eigenen Hand und solche, bei denen nicht nur die Edukte und Produkte vergleichend aufeinander bezogen werden können, sondern sich auch die prozessuale Stoffartumwandlung als solche verfolgen lässt. Ein Beispiel wäre hier die Synthese von Eisensulfid aus den Elementen oder die Elektrolyse einer Zinkiodid-Lösung u. ä ..

Fragen nach den Ursachen und Zusammenhängen werden dabei zweitrangig gestellt, jedoch nicht weggelassen! Langsam verschiebt sich das Gleichgewicht der Phänomenbetrachtung und „-erforschung“ in Richtung Ausgewogenheit bis hin zur Fragendominanz und Bildung von Hypothesen aufgrund gelingender Abstraktion und letztlich zu Initiativen bei der Konzeption eigene Versuche.

Solche Abläufe können innerhalb eines halben Schuljahres mit 2- 3stündiger Chemie gut ausgeformt werden. Die Zeit, die hier investiert werden muss, macht sich im Rahmen einer sichereren und freudvolleren Beschäftigung mit Chemie in der Folgezeit bezahlt.

### 5.3 Kontextfalle

Die Beschreibung und Erläuterung dieses „didaktischen Fallentyps“ bedarf der Schilderung eines Erlebnisses, das der Autor während eines Schulbesuchs hatte. Eine Studierende des gymnasialen Lehramtes hatte eine Stunde zu den Volumengesetzen vorbereitet. Sie sollten experimentell über die Wasserelektolyse mit dem Hofmannschen Dreischenkelapparat abgeleitet werden. Es läutete, die Klasse war vollständig angetreten, die Lehrerin hatte alles gewissenhaft aufgebaut und wies kurz nach der Begrüßung auf ein Stundenthema hin, welches sich erst über die Experimentauswertung ergeben sollte. Und nach bereits drei Minuten lief die Wasserzersetzung bei 15 V Gleichspannung auf vollen Touren.

Dieses Vorgehen gestaltete sich beim Verfasser als didaktisches AHA-Erlebnis.

*Hospitiert und notiert (in: Chemie in der Schule 46(1999)1,8-10)*

**"Analyse und Synthese von Wasser"**

**Vom Versuch, Experimente zu machen !**

Michael A. Anton

*Der Autor beschreibt und kritisiert eine Unterrichtsstunde zum Lehrplan der Jahrgangsstufe 9 an einem mathematisch-naturwissenschaftlichen Gymnasium. Sie ereignete sich im Rahmen des Schulpraktikums einer Lehramtsstudierenden.*

Auf meinem Weg durch die Schulen, in denen Studenten aus meiner Vorlesung "Didaktik der Chemie" ihr 'studienbegleitendes Praktikum' absolvieren, erhalte ich einen faszinierenden Einblick in die unterschiedlichen Ansprüche, denen sich die Newcomer in den einzelnen Klassenstufen gegenübergestellt sehen, und in deren Erfüllung sie von den Praktikumslehrern vor Ort unterstützt werden. So war es auch in dieser Chemiestunde. Eigentlich handelte es sich um eine klassische Thematik des Einführungsunterrichts. Der zu behandelnde Lehrinhalt ist jedem erfahrenen Chemielehrer vertraut; manch einer freut sich auch auf diese Stunde. Auch Seminarlehrer wissen um die Beliebtheit dieses Themas für Lehrproben. Selbst die Schüler bekommen aufgrund der Eindringlichkeit, mit der dieser Lerninhalt vermittelt wird, rasch heraus, daß es sich um einen prüfungsrelevanten Lernstoff handelt. Diese Voraussetzungen waren dem Besucher geläufig und sie bestimmten auch die Erwartungshaltung. Darüber hinaus ist man als Beobachter stets interessiert an den Details der Durchführung, an der Verwirklichung eines Stundenkonzepts, das in seinen Einzelheiten und insbesondere in den ihrer Auswahl zugrundeliegenden Argumentationen nur dem Ausführenden bekannt ist.

Die Stunde begann pünktlich, die Einstimmung auf die für die Schüler nicht vorhersehbare Thematik wurde verkürzt auf zwei prägnante Sätze: "Wie beschäftigen uns heute mit dem Wasser!" und "Beginnen wir mit der Überschrift !" Die Art der Beschäftigung sollte alsbald mit der Tafelschrift "Analyse" eingeschränkt und gezielt angegangen werden. "Wir machen dazu einen Versuch !", gesagt und getan; vor den Augen der Schüler wurde der Hofmannsche Dreischenkelapparat vorgestellt und ordentlich bestückt. Die hierzu nötigen Kommentare waren passend und erhellten das logische Hintereinander der Handgriffe. Mittlerweile waren seit Stundenbeginn vier Minuten vergangen. Ohne weitere Umschweife wurde das Experiment gestartet. Die Schüler wurden unvermittelt auf eine Gasentwicklung an den Platinelektroden hingewiesen, die sie sehen sollten.

In mir wurden Bedenken wach, gravierende, die sich über die Stunde hinweg eher verschärften als daß sie verflogen und sich als unbegründet erwiesen. Nicht nur, daß es mich befremdete, wenn die Behandlung eines Reinstoffes mit dessen Zerstörung beginnen sollte, auch daß alles so voraussetzungslos, mitgebracht und vorgeführt wirkte, daß es bar jeder Begründung und Zielsetzung zur Unterrichtung in Chemie verwendet wurde, rief meine didaktische Aufmerksamkeit in besonderer Weise auf den Plan. Schon seit langem und wiederholt, ohne die Beispiele hierfür krampfhaft suchen zu müssen, betrachte ich diesen und jeden vergleichbaren Umgang mit dem chemischen Schulexperiment äußerst kritisch und sehe in vielen seiner traditionellen Varianten einen der besonders ernst zu nehmenden Gründe für die nicht weiter hinnehmbare Unbeliebtheit unseres Faches (Woest 1996 u.v.a.). Es wird "bloß die Neugier gekitzelt und keinerlei spezifische Kompetenz vorausgesetzt,..." (Bourdieu 1997, S.I). Das Abtasten sowohl des alltäglichen Grundwissens als auch des chemiespezifischen Vorwissens vor dem Hintergrund einer klaren Fragestellung und Zielformulierung, auf die sich Lehrer wie Schüler einigen und mit der sie, oder zumindest eine gewichtige Anzahl von ihnen, die aufkommenden Probleme akzeptieren und an ihrer Lösung, z.B. über die Entwicklung eines Experiments, mitarbeiten wollen, all das hat nicht stattgefunden. Auf einem solchen Mängelmedium kann kein verständnisorientierter Lehr-Lern-Prozeß bei Lehrer und Schüler in Gang kommen (Anton 1995). Mager betont, daß es zu deutlichen Lernerfolgen führt, wenn der Lehrer dem Schüler die Zielformulierung bekannt gibt und ihn so zu seinem "Lehrkumpan" macht (vgl. Mager 1972).

Der "Hofmann" funktionierte gut. Ein kleines Stück Papier mit einer Skizze des Versuchsaufbaus und Beschriftungslinien wurde an die Schüler ausgeteilt. Sie sollten das Blatt in ihr Heft kleben und die Lücken ausfüllen. Die Studentin hatte zur Sicherheit und wohl auch zur Zeitersparnis einen zweiten "Hofmann" mitgebracht. Er enthielt bereits soviel Gasvolumina, daß sich ihr Verhältnis überzeugend bestimmen ließ. Außerdem reichten die, mit Hilfe trockener Reagenzgläser entnehmbaren Portionen aus um die Nachweisreaktionen durchzuführen. An der Anode wurde das Gas der Glimmspanprobe und an der Kathode der Knallgasprobe unterzogen. Das Experimentiergeschick der Lehrerin führte zu eindeutigen Resultaten.

Empfindlich geworden, konstatierte ich während dieser Sequenz nicht das erste Mal, daß die Schüler, sogar unter Zuhilfenahme des Sitzplanes, also namentlich zur Formulierung von Vermutungen aufgefordert wurden. Sie sollten die Gasentwicklung den Reinstoffen richtig zuordnen und die Möglichkeiten der Identifizierung beschreiben. Dabei zeigte sich die angehende Lehrerin bereits darin versiert, unter großzügigem Übersehen von Ausdrucks- und Satzbaudefiziten, die richtigen Vermutungen zu sammeln und sie dem geplanten Vorgehen dienlich zu machen. Auch hierin erkennt man übliches Vorgehen, das mittlerweile sehr kritisch zu hinterfragen ist. Diese Dominanz der Musterlösung im Kopf des Lehrers über die meist unsicheren Formulierungen einzelner Schülerantworten könnte mit ein Grund dafür sein, daß sich Kreativität im Chemieunterricht nicht entfaltet (vgl. Baumert 1997).

Die Tafelschrift war die konsequente Folge des experimentellen Vorgehens. Sie wurde von der Lehrerin helfend vorgegeben und übersichtlich strukturiert. Schüler wurden an der letztendlichen Ausformulierung der

Stichworte beteiligt.

War nun die Analyse beendet und das Verhältnis der Gasvolumina mit  $H:O = 2:1$  bestimmt, so schickte sich die Studentin nun an, das Eudiometer, analog zum "Hofmann", einzuführen und den geplanten Arbeitsgang zur Synthese von Wasser aus den Elementen zu erklären. Kein Zweifel, das versuchstechnische Niveau dieser Stunde war hoch, sehr hoch und die Studentin arbeitete über alle Arbeitsschritte hinweg bewundernswert erfolgreich.

Nun waren 31 Minuten seit dem Stundenstart vergangen. Das Eudiometer (die junge Lehramtlerin versuchte sich der Forderung nach einer etymologische Herleitung des Begriffes mit dem Hinweis "Eu' wie Euter" zu entledigen! *Eudiometer* (gr.: *eudia*: stehende Luft, Windstille; gr.nlat.: Glasröhre zum Messen von Gasen; "Luftgütemesser", da in erster Linie der Sauerstoffgehalt in einem Gasvolumen interessierte)) wurde, wie 27 Minuten zuvor der Dreischenkelapparat, erläutert und mit Wasserstoff und Sauerstoff aus den Flaschen im idealen Verhältnis befüllt. Nach der Piezozündung war kein Restvolumen mehr erkennbar. Ein Schüler faßte die Beobachtung zusammen: "Das, was Sauerstoff und Wasserstoff war, ist jetzt Wasser, also flüssig!" Es wurde nun allerdings nicht mehr darauf eingegangen, daß in einem komplexer ausgestatteten Eudiometer mittels eines Heizdrahtes der Gasraum erhitzt wird, und daß aus 3 Raumteilen Eduktgemisch letztlich zwei Raumteile Wasserdampf werden; und daß dieses Resultat, im Verein mit dem Hofmann-ergebnis schlußig auf ein zweiatomiges Sauerstoff- bzw. Wasserstoffmolekül hinweist. Die hier gewählte Auswertung beschränkte sich auf die vollständige Umsetzung eines Gasmisches aus Wasserstoff und Sauerstoff in quantitativer Analogie zur Entstehung bei der Elektrolyse.

Das übersichtliche Tafelbild wurde nicht ganz konsequent vervollständigt (Vgl. Skizze unten).

### Zersetzung und Synthese von Wasser

#### I. Zersetzung

V Hofmannscher Apparat

a) Aufbau

b) Beobachtung

1. Anode (+): 20.6 ml: positive Glimmspanprobe

2. Kathode (-): 42 ml: positive Knallgasprobe

c) Erklärung

1. Sauerstoff:

2. Wasserstoff

d) Gleichung:  $H_2O \rightarrow H_2 + O_2$

(Vgl. zu a), b) und c): Arbeitsblatt und Diktat)

#### II. Synthese

V Eudiometer

a) Aufbau

b) Durchführung und Beobachtung

Wasserstoff :Sauerstoff = 2 :1; Restvol.:0 ml

c) Erklärung

Auch der Eudiometersversuch konnte vom Schüler mit Hilfe einer fertigen Skizzenkopie ins Heft übernommen werden. Sowohl zum Analyse- als auch zum Syntheseversuch wurden Merksätze diktiert. Dabei verstand es die Studentin gut, dem Schüler bei der so wichtigen Unterscheidung von wesentlich und unwesentlich zu helfen. Sie wies an, welche Begriffe im Diktattext mittels Farbstift hervorzuheben seien.

Dass sich im ersten Diktat der Satz befand: "Im Wasser sind die Elemente Wasserstoff und Sauerstoff im Verhältnis 2 : 1 enthalten!" gäbe zu einer eigenen Betrachtung Anlaß und soll hier nur marginal erwähnt werden (vgl. auch Kiechle 1995, Hüttner 1996).

Alles Vorgehen dieser lehrergeleiteten Stunde führte zu einem runden Abschluß, der zudem pünktlich nach 45 Minuten erfolgte. Die Planung war *erfüllt*, die Versuche sind *gut gegangen*, die Schüler haben *mitgemacht*, die Merksätze stehen *im Heft*, der Aufwand hat sich *gelohnt* und die nächste Stunde kann gut zur *Weiterführung* in der Unterrichtseinheit verwendet werden. Die Studentin, die die nächste Stunde nicht zu halten hatte, schlug vor, einiges zur Wasserstofftechnologie zu sagen. So sollte nach ihrer Auffassung der alltagsorientierte Aspekt des Themas Berücksichtigung finden.

Der erfahrene Leser wird zugeben, daß er solche Stunden kennt. Sie werden häufig gut bewertet, besonders dann, wenn sie neben experimenteller Virtuosität frei von fachlichen Unstimmigkeiten sind. Ihre Diskussion endet zumeist mit einem "Weiter so!", häufig mit der verständnisvollen Einschränkung, nicht zu viel in eine Unterrichtsstunde hineinzupacken und bei der Beteiligung von Schülern mehr auf ordentliches Melden, die Verwendung der Fachbegriffe und das Formulieren ganzer Sätze zu achten.

Auch wenn die Studentin mit Berechtigung stolz auf diesen Lehrversuch sein durfte, traute ich mich doch, einen Aspekt meiner Stundenmitschau betont in die Besprechung miteinzubringen.

Nach über 1000 Unterrichtsstunden, die ich während meiner Zeit als Seminarlehrer beobachtet, protokolliert und ausführlich besprochen hatte, komme ich mehr und mehr zu dem Schluß, daß der eigentliche Sinn einer experimentell ausgerichteten Chemiestunde häufig, zu häufig übersehen wird.



**Das Experiment wird in der Schule und besonders im Sekundarstufenbereich I, also in der Phase des Bekanntwerdens der Schüler mit der Arbeitsmethodik ihres neuen Faches, fast ausschließlich von seinem Effekt her beurteilt und "ausgewertet". Das Entdecken einer absoluten Notwendigkeit des Experiments für die Überprüfung einer Vermutung, deren Wahrheitsgehalt oder deren Irrtümlichkeit auch unabhängig vom Experimentator selbst also objektiv Gültigkeit erhalten soll, wird viel zu sehr vernachlässigt.**

**Dem Sinn von Schulexperimenten muß neu nachgegangen werden; auch deshalb weil die Vermehrung und Verbesserung von Schulexperimenten keinerlei korrigierenden Einfluß auf die schon zitierte Unbeliebtheit des Chemiefaches ausgeübt hat. Wenn es nicht gelingt, den Chemieschüler überzeugend erleben zu lassen, daß er mit dem Experiment eine fantastische Möglichkeit für einen allgemeingültigen Erkenntnisgewinn an die Hand bekommt, gerät das vorgeführte, voraussetzungslose aber effektreiche Experiment zum Schauversuch. Da er nicht an Fragen gebunden ist, lassen sich an seinen oftmals beeindruckenden Effekten auch keine Antworten festmachen. Er führt dann nicht zu einer folgerichtigen Argumentation mit einer überzeugenden Endaussage, sondern er stört sie. Dies ließe sich sogar mit neueren Erkenntnissen der Kognitionsforschung in Einklang bringen, wonach "bestimmte kognitive Leistungen an bestimmten inhaltlichen Materialien möglich sind, an anderen dagegen nicht" (Prinz, Strube 1997, S.150).**

Selbstverständlich hat auch der gelungene Schauversuch seine Berechtigung, besonders dann, wenn aus den Phänomenen Fragen hervorgehen, die sich über Hypothesenbildung zum eigentlichen, hier deduktiv eingesetzten Experiment verdichten lassen. Für sich genommen repräsentiert er jedoch die Chemie und ihre Methodik weitaus weniger -und das ist für die Schule besonders ausschlaggebend- als ein Experiment, das mit den Schülern entwickelt, durchgeführt und zur Klärung einer vorher formulierten Hypothese eingesetzt wird. Ein derartiger Umgang mit dem chemischen Schulexperiment wird weitaus seltener gepflegt obwohl gerade er erwarten läßt, daß Schlüsselqualifikationen besser ausgebildet werden können und mit ihm den Ansprüchen einer neuen Lernkultur adäquater entsprochen geantwortet werden kann (Weinert 1997). Auch als Reaktion auf die Ergebnisse der TIMSS-Studie (Baumert 1997) sollte man sich eine diesbezügliche Neuorientierung überlegen.

Wir sind uns als Chemielehrer darüber im Klaren, daß dieser bessere Weg der zeitlich und methodisch aufwendigere und feinsinnigere ist. Vielleicht ist diese Erkenntnis der Wendepunkt auf dem Weg zu immer mehr Unbeliebtheit und zu immer mehr Vergessen im und nach dem jahrelangen Chemieunterricht und damit auch zur allseits beklagten Akzeptanzproblematik angewandter Naturwissenschaften (Todt, Götz 1997).

Auch und gerade mit Blick auf die Lehrerausbildung und auf eine Qualitätsverbesserung von Chemieunterricht erscheint es lohnend, dieser Vermutung lehrwissenschaftlich, also fachdidaktisch und vor Ort nachzugehen (vgl. Woest 1997).

#### Literatur:

- 1 Woest, V.: Alltagsorientierter Chemieunterricht; Bremer Reihe Umwelterziehung H.3, Bremen 1996
- 2 Bourdieu, P.: Wider den Terror der Einschaltquoten; in: SZ v. 27./28.12.97, S. I
- 3 Anton, M.A.: Didaktische Variation und Kontaktvariation im Chemieunterricht, Peter Lang Verlag, Frankfurt 1998
- 4 Mager, R.F.: Lernziele und Programmierter Unterricht; Beltz, Weinheim 1972
- 5 Kiechle, H.: Ein Stoff wird aufgebaut: Die Synthese; Die Zersetzung - eine chemische Reaktion; Chemischer Partnertausch: Die Umsetzung; Manuskript zu "Didaktische und methodische Aspekte des Unterrichtsstoffes der Jgst.9" (unveröffentlicht), München 1996
- 6 Hüttner, R.: Woraus besteht Wasser? in: Chem.Sch., Berlin 42(1996)H.9, S.310-313
- 7 Prinz, W.; G.Strube: Kognitionswissenschaften; MPI für Psychologische Forschung, München Reprint 43/1997
- 8 Weinert, F.E.: Lernkultur im Wandel; Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung München, Reprint 42/1997
- 9 Baumert, J.; R.Lehmann et al.: TIMSS - Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich; Leske+Budrich, Opladen 1997
- 10 Todt, E.; C.Götz: Hoffnungen und Befürchtungen von Jugendlichen gegenüber der Gentechnik; in: ZfDN 3(1997)2, 15-22
- 11 Woest, V.: Den Chemieunterricht neu denken; Leuchtturm, Alsbach 1997

(Eine intensivere Betrachtung dieses oben geschilderten Phänomens, wonach die Effektbetrachtung eines Schulexperiments weitgehend über die Ursachenbetrachtung und

Hypothesenbildung dominiert, hat zu weiteren Schlussfolgerungen geführt, die in einer weiteren Veröffentlichung (vgl. Chemie in der Schule 46(1999)2, 109-112) und in Vortragsmanuskripten verdichtet worden sind.)

Im Chemieanfangsunterricht werden Grundlagen chemischen Wissens geschaffen. Die Aufarbeitung der Inhalte geschieht dabei vorrangig auf induktive Weise, d. h. aus der Betrachtung mehrerer Beispiele wird ein ihnen zugrunde liegendes Prinzip abgeleitet und zu einer – wenn möglich – Merksatzregel verdichtet. Beispielsweise werden mehrere Metall- und Nichtmetalloxide dargestellt, in Wasser aufgenommen und die Lösung mit geeigneten Indikatoren überprüft. Die Regeln „Metalloxide ergeben in ihrer wässrigen Lösung Laugen“ und „Nichtmetalloxide bilden in wässriger Lösung Säuren“ zählen zu den gut merkbaren Grundsätzen einer gelingenden und hilfreichen Stoffsystematik; primär innerhalb des gekürzten PSE.

Dieses konvergente Vorgehen und die damit verbundene Suche nach zunächst nicht manifesten Gemeinsamkeiten entspricht auch ganz allgemein der fachwissenschaftlichen Methodik.

Es wird jedoch aus mehreren Gründen den lehrwissenschaftlichen (fachdidaktischen) Postulaten nicht gerecht. Einmal weil die deduktiv ausgerichtete divergente Blickrichtung des Sekundarstufe-I-Schülers auf die Umwelt die konvergente dominiert: „Das Interessante sind die Unterschiede!“, und zum anderen, weil die induktive Vorgehensweise mit zu wenigen und oftmals nicht gut geeigneten Experimenten gestaltet werden muss. Überdies beansprucht das induktive Vorgehen zwangsweise viel Zeit: „Das Induktive ist das ‚lange Langsame‘“. Und es läuft zumindest Gefahr, zunächst aufgrund der Redundanz des experimentellen Geschehens („Immer wieder dasselbe handling.“) aber auch wegen der schon erahnbaren, fallweise bekannten oder zumindest antizipierbaren Resultate ganz einfach langweilig zu werden.

Dieses Dilemma kann bei manchen kritisch reflektierenden Lehrern als bekannt vorausgesetzt werden. Ist man erst einmal darauf aufmerksam geworden, so findet man immer mehr Beispiele – wie beim Schwammerl (=Pilze)-Suchen! Über die Jahre und Jahrzehnte haben sich über diese Problemlage Vorgehensweisen gelegt, die für die Lehrwissenschaft eine besonders interessante Charakteristik aufweisen. Die experimentell arbeitenden Chemielehrer decken im Anfangsunterricht Regeln und Gesetze lehrplangerecht auf. Dies geschieht jedoch mit Hilfe von deduktiv orientierten Experimenten!

Die Herleitung der Volumengesetze bei Gasreaktionen durch die Wasserzerlegung (eigentlich durch die Schwefelsäureelektrolyse) mit dem Hofmannschen Dreischenkel-

oder Zersetzungsapparat ist hierfür ein besonders schönes Beispiel. Allein die besondere Gestaltung des Glasapparats zeugt von einer komplexen, deduktiv zu überprüfenden Hypothese, der er seine spezielle Konstruktion zu verdanken hat. Im Unterricht der Jgst. 8 oder 9 wird er meist ohne langen argumentativen Vorlauf eingesetzt, und – der Praktiker erinnert sich – die Knallgas- und Glimmspanprobe werden genau an den „richtigen“ Schenkeln durchgeführt. Der zeitliche Aufwand hält sich damit deutlich in Grenzen und es gilt: „Das Deduktive ist das ‚kurze Schnelle!‘“. So eingesetzt, dient der Versuch primär einer Demonstration des handwerklichen Vorgehens in der Chemie. Auf die langwierige Hypothesenentwicklung wird kaum eingegangen. Man wird feststellen müssen, dass dies auch für viele andere Unterrichtsversuche Gültigkeit besitzt.

Da er durch ein weiteres induktiv orientiertes Vorgehen nicht ergänzt wird und auch eine Überprüfung der Konstanz der Ergebnisse durch einen Eudiometerversuch nur selten erfolgt, erhält die mit ihm eigentlich herzuleitende Gesetzmäßigkeit einen hohen Grad empirischer Unabhängigkeit. Das ist genau das Gegenteil dessen, was den naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn begründet. Dies kann in der schulischen Alltagspraxis noch ungewollte Unterstützung erfahren, wenn sich das vom Lehrer „erwünschte“ Ergebnis nicht einstellt, z. B. weil zum Demonstrationsbeginn die Säurelösung über der Anode nicht sauerstoffgesättigt wurde und sich das „richtige“ Volumen nicht ergibt.

Versuche, die von ihrem Konzept her deduktiv ausgerichtet sind, dabei jedoch dazu dienen sollen, induktiv zu ermittelnde Regelmäßigkeiten einigermaßen zwingend herzuleiten, erleiden auf diesem Weg einen doppelten Bedeutungsverlust: Das was sie leisten können, wird ihnen nicht abverlangt, und bezüglich der an sie gestellten Ansprüche sind sie fehlbelastet. Dieser inadäquate Experimenteinsatz trifft auch noch auf eine relativ dazu ungeeignete Motivationskonstellation bei Schülern der Mittelstufe.

Den noch nicht ausgeprägten Tendenzen konvergenten Denkens, also der Suche nach Gemeinsamkeiten, nach Prinzipien, die erst bei Schülern der Oberstufe als Anliegen konstatiert werden können, wird mit der Verwendung von Experimenten begegnet, die zwar die vorhandenen Bedürfnisse einer Suche nach Unterschieden befriedigen könnten, für diesen Zweck aber nicht verwendet werden. Ich will dieses fachdidaktisch interessante Phänomen als „**Kontextfalle**“ bezeichnen.

Es ist davon auszugehen, dass diese Kontextfalle nicht in jedem Lehr- und Lerninhalt lauert. Wir sollten jedoch als Lehrer damit rechnen, dass wir öfters hineintappen als uns bislang bewußt war. Sie ließe sich sogar als Begründung für das eigenartige Phänomen heranziehen, das jedem routinierten Lehrer mehr oder weniger häufig widerfährt; dass er

nämlich sein Stundenziel auch dann immer erreicht, wenn von den eingesetzten Versuchen – aus welchem Grund auch immer – keiner gelingt!

Kann es nicht sein, dass wir, die Chemielehrer mit dieser tradierten Vorgehensweise die Schüler der Sekundarstufe I und II auf jeweils spezielle Weise fehlbelasten? Im Gegensatz zu der letztlich gewollten Vermittlung der großen Bedeutung des chemischen Experiments im Schulunterricht heißt die Botschaft: *„Experimente sind schön, aber letztlich für das Verstehen unwichtig und überflüssig. In der letzten Konsequenz stören sie als Phänomene die gedankliche Arbeit im Abstrakten!“* Eine derartige Entkopplung von Theorie und Praxis fachwissenschaftlicher Inhalte ist deshalb besonders prekär, weil die Chemie gerade durch die enge Verzahnung beider Ebenen charakterisiert ist, mehr als alle anderen Naturwissenschaften (vgl. hierzu: Jensen, W. B.: Logic, History, and the Chemistry Textbook; in: JchemEd. 75 (1998)6, 679-687: 684.). Hier entfernt sich der Unterricht von seiner wissenschaftspropädeutischen Zielsetzung.

Es ist zu vermuten, dass diese Zusammenhänge auch Ursprünge für die eigenartige und ungebrochene Zunahme der Aversion vieler Schüler gegenüber ihrem Fach Chemie darstellen.

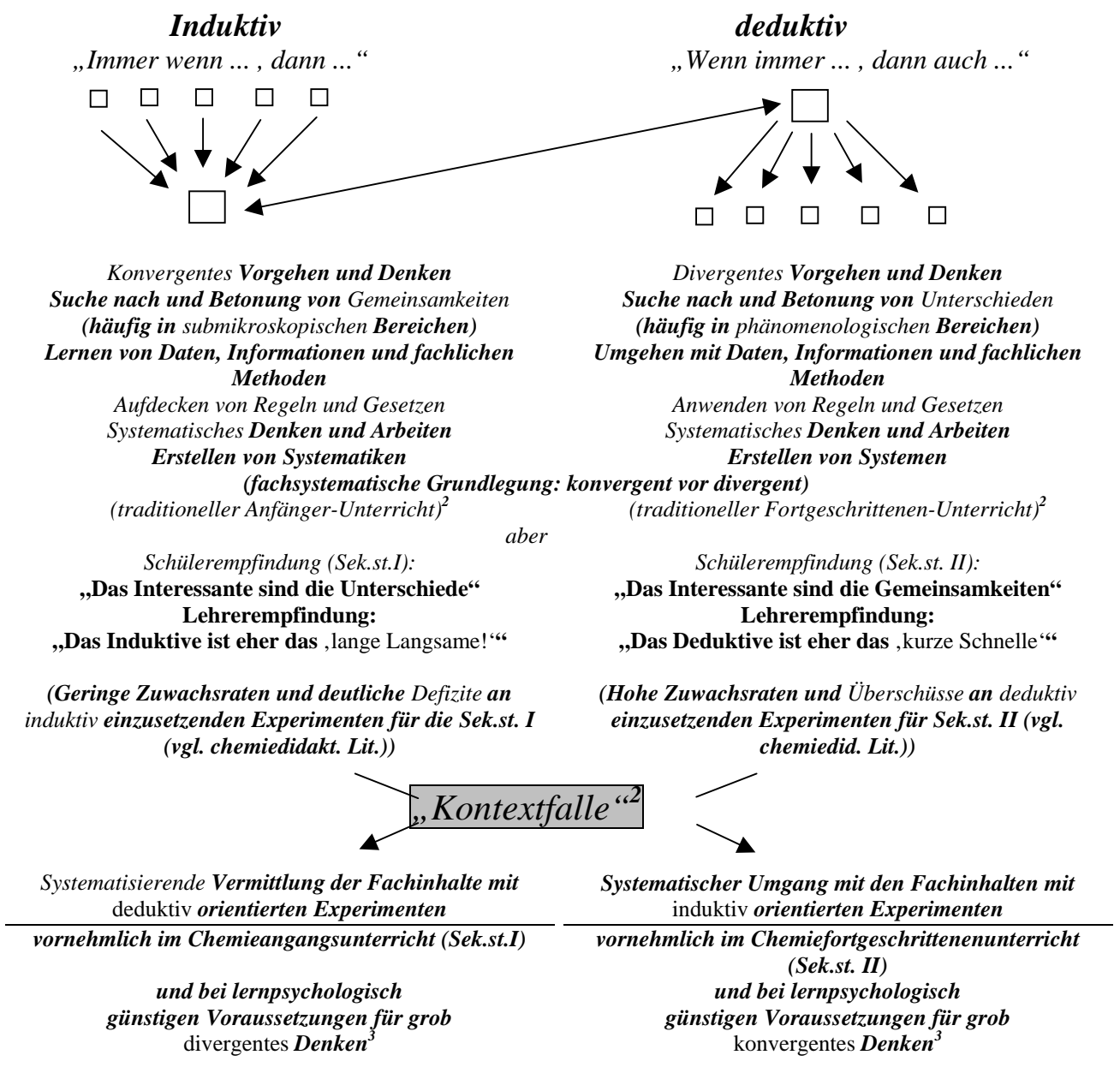
Dass sich dies bevorzugt dann abzeichnet, wenn Schüler der Sekundarstufe I (ab Jgst. 8, 9) in ihren Einstellungen verfolgt werden, und nicht schon früher, hängt wohl mit der Schwerpunktsetzung im Chemieunterricht zusammen.

Im Primarstufenunterricht (Sachkunde, Naturwissenschaft) steht das Phänomen, die Beobachtung im Vordergrund und nicht deren abstrahier- und Verallgemeinerbarkeit. Die induktiven und deduktiven Orientierungen der Experimente sind noch nicht wirksam und die Kontextfalle schnappt (noch) nicht zu. Dies alles gilt selbstverständlich nicht für alle Schüler, Schultypen und Chemielehrer, aber für die Mehrheit und die ist der wichtigste Kunde der Fachdidaktik.

Noch sei es hier nur am Rande erwähnt! Der Bildungswert chemischen Grundwissens erleidet gerade durch den oben beschriebenen deutlich suboptimalen Einsatz der fachspezifischen Methodik des Erkenntnisgewinns den seit Mitte des vorigen Jahrhunderts beklagten Bedeutungsverlust (Arendt 1868). Und ein Fach, das „nur“ veranschaulicht und erklärt, leistet nicht dasselbe wie ein anderes, das die domänenspezifische Genese der Beziehungen zwischen beiden, also zwischen Anschauung und nützlicher Deutung zum Inhalt hat. Erst diese Leistung schafft beim Einzelnen ressourcengespeistes vernetzbares Wissen und ermöglicht kompetentes Handeln aufgrund positiv-kritischer Werteorientierung. Was ist das aber anderes als Bildung?!

Da Erschwernisse der Erklärarbeit allerhöchste Ansprüche an die Methodik der Unterrichtsführung stellen, erscheint es fast als zwangsläufig, wenn mehr oder weniger deutlich auf verbindende Elemente aus dem fachwissenschaftlichen Inhaltskatalog, etwa das Mathematische spezialisierend ausgewichen wird. Das oftmals übertriebene Rechnen im Chemieunterricht kommt dann einer didaktischen Einnischung gleich. Sie hat das Ziel, die als besonders anspruchsvoll erkannten Alternativen, wie sie oben geschildert wurden, zumindest streckenweise meiden zu können.

Eine andere beobachtbare Reaktion ist der Verzicht auf Experimente! Es ist aufgrund der erkennbaren Zusammenhänge nicht mehr verwunderlich, dass die hiervon betroffenen Klassen keinesfalls leistungsschwächer abschneiden.



<sup>1</sup>Die zweiseitig angeordnete Unterscheidung und Charakterisierung dient zur besonderen Kontrastierung. Sie beschreibt eine Grundlage für Vortrag und Diskussion. Mit ihr wird keine semantische Begriffsdefinition angestrebt.

<sup>2</sup>Die in sich durchaus schlüssige Gegenüberstellung wird durch die geltende Praxis konterkariert. Wo induktives Vorgehen von der fachwissenschaftlichen Seite her sinnvoll und konsequent erscheint und von der fachunterrichtlichen Logik meist übernommen und auch gerechtfertigt wird, stößt es lernpsychologisch auf ungünstige Voraussetzungen.

Dieses „traditionelle“ Überkreuzen von fachwissenschaftlichen Kriterien mit lehrwissenschaftlichen Bedingungen wird hier als „Kontextfalle“ bezeichnet. Sie beschreibt die häufig beobachtbare Inkongruenz von fachspezifischem Anspruch und lehrwissenschaftlicher Leistungsfähigkeit – auch als eine der möglichen Ursachen für die suboptimalen Wirkungen des Chemieunterrichts.

Durch einen inadäquaten Experimenteinsatz wird sie in ihrer Wirkung verschärft. Ein solcher kann es mit sich bringen, dass die mit ihm eigentlich zu vermittelnde Regel oder Gesetzmäßigkeit nicht ausreichend überzeugend vorgestellt wird. Bei Problembearbeitungen wird sie folglich wenig beherzt angewendet und kaum kombiniert mit anderen. Ein solcher eher erfolgloser Einsatz von als wertvoll „verkauften“ Werkzeugen kann dann eher zu einer Aversion als zur gewünschten Appetenz führen. Man könnte daraus folgern, dass die Regelableitung und –nutzung auf Theorieebene durch die Nichtstörung mittels Experimente weniger dramatisch verlaufen könnte.

<sup>3</sup>Vgl. hierzu auch die Typendifferenzierung aus: Rost, J. et al.: Struktur und Veränderung des Interesses an Physik bei Schülern der 6. bis 10. Klassenstufe; in: Zeitschr. für Entwicklungspsychol. u. Päd. Psychol. 31 (1999)1, 18-3.

## **6. Wo liegen die Konsequenzen –nicht nur- für den unterrichtlichen Experimenteinsatz?**

Es darf uns in Zukunft nicht nur um eine weitere Intensivierung des Experimentalunterrichts gehen, sondern viel mehr und vor allem um die Vermittlung, dass keine naturwissenschaftlichen Erkenntnisse direkt aus der bloßen Betrachtung gewonnen werden. Stets entstehen sie aus dem fortgesetzten Gedankenspiel von Deutungssystemen und den daraus entwickelten Experimenten.

Ein Experiment ist grundsätzlich gedanklich antizipiert. Damit ist es die Konsequenz einer Vorstellung von dem, was passieren müsste, wenn das angewandte Deutungssystem brauchbar ist.

Brauchbar oder wahr ist es u. a., wenn es den ins Auge gefassten Ausschnitt der Wirklichkeit weitgehend widerspruchsfrei erklärt.

Diese Zusammenhänge werden dann auf besondere Weise hinterfragt, wenn die Phänomene und die dazu gehörenden Erklärungen, also die Erkenntnis von den Zusammenhängen, bedeutsam sind.

Wollen wir also in unserem Chemieunterricht das Experiment als wesensbestimmendes Mittel für den Erkenntnisgewinn bedeutungsvoll für den Schüler erscheinen lassen, so muss vor den Entwurf eines Aufbaues und vor die Durchführung seine Begründung ermittelt bzw. mit dem Schüler entwickelt werden.

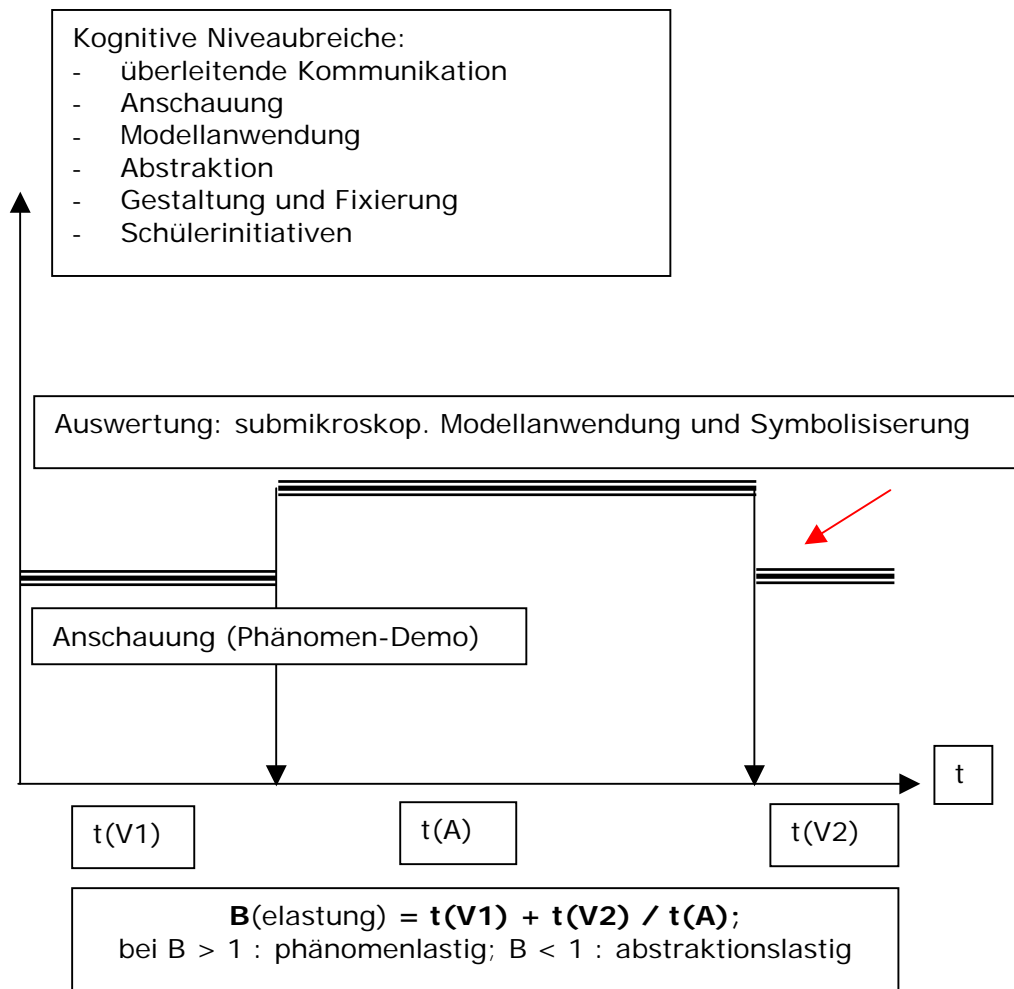
Beachtet man darüber hinaus auch noch die Rolle der Sinnggebung für den Lerneifer, die diese Empirie für jeden einzelnen Schüler haben soll, so wird das ganze Ausmaß an Schwierigkeiten und Herausforderungen des Chemieunterrichtens sichtbar.

Und das gilt nicht ausschließlich für den Unterricht in der Schule, sondern auf völlig analoge Weise auch für die Chemielehre an der Hochschule (vgl. Manuskript zum Vortrag am 28.11.01, Uni Wien).

An dieser Stelle darf jedoch mit dem Nachdenken nicht aufgehört werden. Die lehrwissenschaftliche Analyse steht ja nicht nur vor Schwierigkeiten, sondern sie bietet auch viele Chancen für die Lösung der komplexen Probleme.

Wir wissen heute viel mehr über die Gesetzmäßigkeiten des Lehr- und des Lernprozesses, so dass es möglich ist, hilfreiche Konsequenzen zu ziehen.

1. Exemplarisches Vorgehen: Die Auswahl der Inhalte in einer Pflicht- und Kürform darf sich auf wenige beschränken und die Lehrpläne sind entsprechend zu konzipieren
2. Verdeutlichen der Bedeutung des Erkenntnisgewinns für den Schüler, die eine Auseinandersetzung mit den Inhalten rechtfertigen und begünstigen. Differenzierung zwischen den Lernargumenten: Sammeln von Fachinhalten zur Vervollständigung von Wissensgebieten und/oder zum unmittelbaren praktischen Anwenden.
3. Beachtung der gegensätzlichen Effekte von Staunen und Fragen bei der Entwicklung motivationaler Konzepte in der Unterrichtsführung. Differenzierungen zwischen Motivation und Interesse, zwischen Strohfeuer und Begeisterung, zwischen Spaß und Freude, zwischen Anstrengung, Leistung und Erfolg!
4. Berücksichtigung der unterschiedlichen kognitiven Belastbarkeit von Kindern und Heranwachsenden hinsichtlich der Beobachtung und Beschreibung eines Phänomens und seiner abstrakten Erklärung, etwa auf der Teilchenebene.
5. Differenzierung zwischen der erzieherischen Lehrleistung und der sich-bildenden konstruktivistischen Lernleistungen: Der Lehrer kann nicht für den Schüler lernen! Er kann aber den Lernprozess situativ optimal gestalten.
6. Behutsamer Umgang mit dem Experiment. Es müssen der gedankliche Vorlauf und die Konzeption wie auch die Auswertung in gleichberechtigter Weise aufeinander abgestimmt werden. Und es muss nach der Demonstration und der oftmals aufwändigen Auswertung (Beispielsweise bei der Formulierung der Redox-Einzel- und Gesamtgleichungen zur Oxidation primärer und sekundärer Alkanole) einen Rückbezug zum Phänomen (roter Pfeil) geben. Das kann für formalistisch Denkende in Form einer „Gleichung“ beschrieben werden:



7. Hervorhebung der prozessualen Aspekte der energiebegleiteten Stoffartumwandlung (vgl. Physik: Stoffzustandsänderungen), etwa durch die Auswahl von „langsamen Reaktionen“.
8. Entwicklung von Mess- und Bewertungsinstrumenten für die Leistungen der praktisch arbeitenden Schülergruppen
9. Beachtung des Wechsels von Dekontextualisierung und Rekontextualisierung bei der Behandlung von alltagsrelevanten chemischen Inhalte.
10. Fortgesetzte Metakognition und Evaluierung

Mit einer sukzessiven Berücksichtigung dieser **Faktoren zur Unterrichtsgestaltung** erhöht sich die Wahrscheinlichkeit einer langfristig wirksamen Verbesserung von



Chemieunterricht im Sinne einer Verstärkung der **Akzeptanz aber auch der Anstrengungsbereitschaft seitens der Lerner**, also der Schüler und Schülerinnen.

Um solches sicher zu stellen, müssen auch die Lehrer bestmöglich ausgestattet werden. Für ein **Update der Lehrerbildung** bedarf es einer intensiven Unterrichtsforschung zu allen **Kompetenzbereichen des Lehrers**.

Diese lassen sich in eine Reihenfolge bringen, welche wiederum den konzeptionellen Abschnitten einer Unterrichtseinheit entspricht.

1. Vertraut sein mit den Inhalten des Faches  
(Fachwissenschaftliche Kompetenz)
2. Kenntnis haben von Umfang und Qualität der bisherigen Wissensinhalte des Lerner  
(Diagnosekompetenz)
3. Vertraut sein mit den Fähigkeiten, Fertigkeiten und Interessenlagen sowie altersspezifische Interessenlagen der Lerner  
(Mathetische Kompetenz)
4. Ausrüsten der Inhalte mit Lern-Adaptoren  
(Didaktische Kompetenz)
5. Präsentieren der Inhalte  
(Methodische Kompetenz)
6. Vermitteln von Sinnhaftigkeit und Bedeutungen einer erfolgreichen Wissenskonstruktion (Methodische Kompetenz)
7. Erzeugen kognitiver Konflikte  
(Methodische Kompetenz)
8. Aktivieren von Anstrengungsbereitschaft und Lernstrategien (Lernkompetenzen) unter Beachtung des Hindernis-Ziel-Verhältnisse (vgl. S. 11)  
(Methodische Kompetenz)
9. Unterstützen der Wissenskonstruktion durch Herstellen situativer Lernsituationen  
(Methodische Kompetenz)
10. Kontrollieren der Anwendbarkeit der neuen Wissensinhalte (Rekontextualisierung)  
(Bewertungs- und Beurteilungskompetenz)

## 11. Reflektieren und evaluieren des abgelaufenen Lehr-Lern-Prozesses (Metakognitive Kompetenz)

Um solches zu leisten, stünden uns im Augenblick eine Fülle von Chancen zur Verfügung: LPO I-Änderung (Bayern), Novellierung der Lehrpläne, Konsequenzen aus PISA und TIMSS, Vorgaben des Wissenschaftsrates zur Neustrukturierung der Lehrerbildung inkl. der Fachdidaktiken, Modelle zur Effizienzsteigerung des naturwissenschaftlichen und mathematischen Unterrichts, Aktivitäten des IPN, das mehrjährige IMST<sup>2</sup>-Projekt (Österreich) uva..

Die Gelegenheit ist günstig, insbesondere für eine effektvolle Zusammenarbeit in der Lehrerbildung zwischen Fach-, Erziehungs- und Lehrwissenschaft!

Für das Fach Chemie steht allerhand auf dem Spiel, aber auch für die Didaktiken.  
Für sie gilt:

**„Man muß eine Aufgabe vor sich sehen, und nicht ein geruhames Leben“**  
(L. N. Tolstoi).

Sie müssen ihre lehrwissenschaftlichen Hausaufgaben in der Gesellschaft erledigen, sonst  
... !