

Dr. Annette Geuther

Experiment und experimentelle Methode im Chemieunterricht

Vortrag zur MNU-Landesversammlung am 28. August 2002 in Darmstadt.

Inhalt

1. Einleitung
2. Methodische Einsatzvarianten von Schulexperimenten im Unterricht
3. Einsatzvoraussetzungen für die experimentelle Methode
4. Das experimentelle Erkunden
5. Das experimentelle Voraussagen
6. Was schreibt man auf? Möglichkeiten des Fixierens von Vorgehensweise und Ergebnissen beim Experimentieren
 - im Tafelbild
 - im Schülerheft
7. Resümee

1. Einleitung

In Wissenschaft und Wirtschaft spielt heute das Experimentieren als Forschungsmethode eine fundamentale Rolle.

Neueste in Deutschland und in den Niederlanden angelegte Untersuchungen¹ zeigen aber, daß Schüler im naturwissenschaftlichen Unterricht kaum in der Lage sind, anhand von Experimenten Erkenntnisse zu gewinnen. Das mag viele Ursachen haben. Einerseits liegt es vielleicht daran, daß im Unterricht - aus welchen Gründen auch immer - wenig experimentiert wird. Andererseits ist ein Unterricht mit Experimenten noch keine Garantie dafür, daß die Schüler dadurch befähigt werden, experimentelle Methoden zum Kenntnisgewinn nutzen zu können.

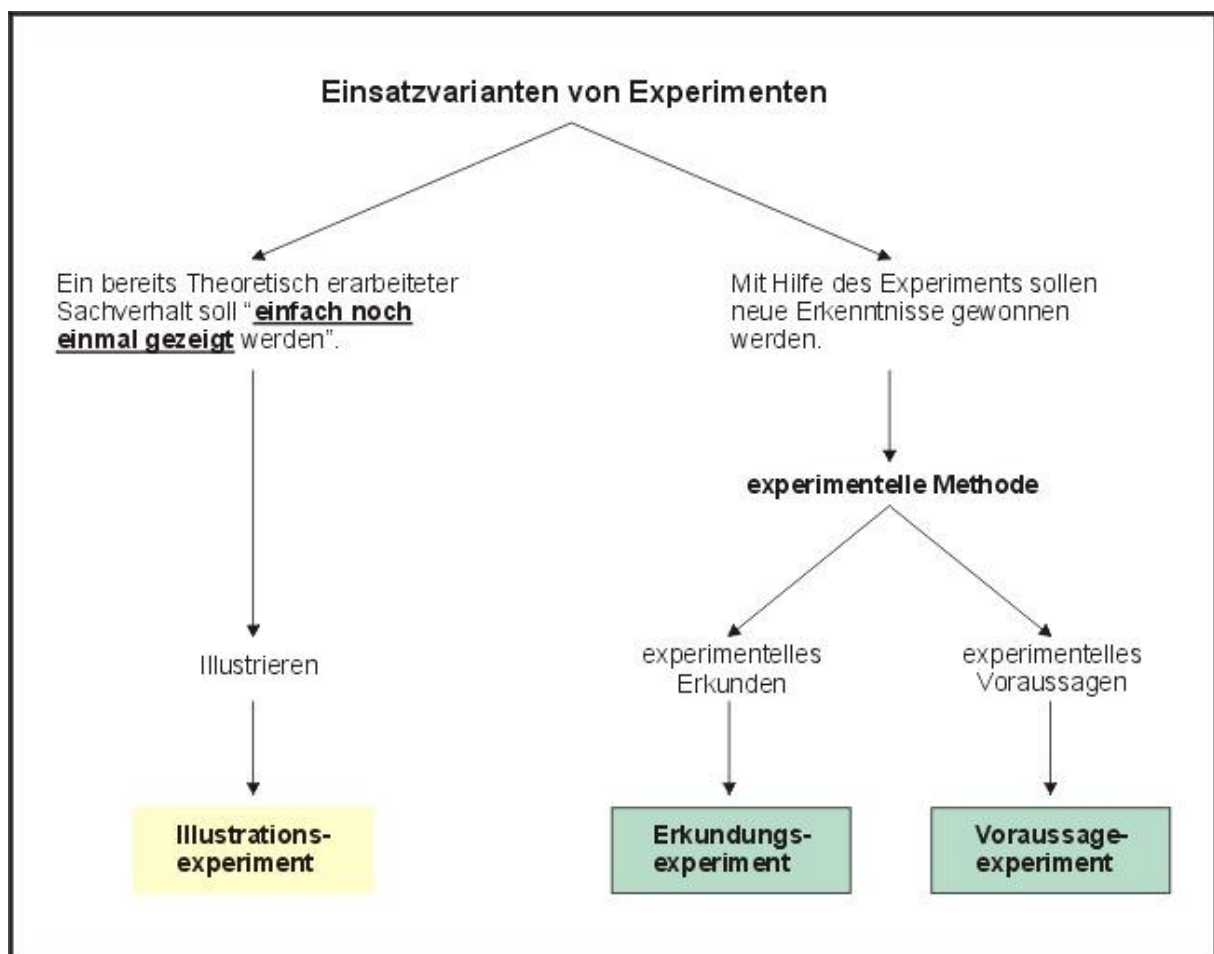
1 GRÖGER, M.; Scharf, V.; Schmitz, J.; Krause, R.: "Leben und Schaffen des Langensalzaer Chemikers, Apothekers und Lehrers Johann Christian Wiegleb" als Beispiel für eine Seminarfacharbeit in Thüringen. In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 51(2002)2, S. 14-16.
Coenders, F.; van Haren, P.; de Beurs, C.; Gröger, M.: Ein Blick über die Grenzen: Die Profilarbeit in den Niederlanden am Beispiel eines technischen Entwurfes im Fach Chemie. In: Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 51(2002)2, S. 6-9.

"Demonstrations- und Schülerexperimente durchbrechen zwar das fragend-entwickelnde Unterrichtsmuster, doch kommt auch hier häufig das eigenständige Planen, Auswerten und Interpretieren zu kurz"

[Manfred PRENZEL: Die Ergebnisse von PISA. IPN-Blätter 18(2001)4, S. 3].

Ziel meiner Ausführungen soll es deshalb sein, Unterrichtsmethoden zusammenzustellen, die helfen können, Schüler zu eigenständigem naturwissenschaftlichen Arbeiten unter Einbeziehung von Experimenten zu befähigen. Ich halte es für sehr wichtig, daß diese Methoden keinerlei Mehraufwand gegenüber der bisher gewohnten experimentellen Unterrichtsarbeit erfordern - egal ob Sie mit Lehrerdemonstrationsexperiment oder mit Schülerexperiment, in Einzel- oder Gruppenarbeit, arbeitsgleich oder arbeitsteilig arbeiten wollen. Diese Methoden sind im Unterrichtsalldag immer wieder problemlos umsetzbar, so daß sich außerdem ein nachhaltiger Übungseffekt erzielen läßt.

2. Methodische Einsatzvarianten von Schulexperimenten im Unterricht



Der Einsatz von Experimenten im Unterricht kann prinzipiell zwei Gründe haben:

Grund 1:

Ein bereits theoretisch erarbeiteter Sachverhalt soll "einfach noch einmal gezeigt werden".

Grund 2:

Mit Hilfe des Experiments sollen neue Kenntnisse gewonnen werden.

Wenden wir uns zunächst dem ersten Fall zu: Ein bereits theoretisch erarbeiteter Sachverhalt soll noch einmal im Experiment gezeigt (illustriert, veranschaulicht) werden. Wenn Sie im Unterricht so vorgehen, haben Sie sich für den Einsatz des Experiments als **Illustrationsexperiment** entschieden.

Beispiel:

Die Schüler haben im Lehrbuch gelesen, daß sich Kochsalz gut in Wasser löst. Anschließend geben sie eine Spatelspitze voll Kochsalz in ein Reagenzglas mit Wasser.

Wie Sie deutlich erkennen können, gewinnen die Schüler aus diesem Experiment keine grundlegend neuen Erkenntnisse. Sie lernen dabei auch nicht, eine wissenschaftliche Fragestellung zu entwickeln. Illustrationsexperimente mögen im Unterricht manchmal ihre Berechtigung haben (vielleicht, um z.B. im Anfangsunterricht grundlegende experimentelle Techniken zu vermitteln). Illustrationsexperimente können die Schüler aber überhaupt nicht dazu befähigen, die experimentelle Methode zur Kenntnisgewinnung zu nutzen. Es ist deshalb durchaus empfehlenswert, den Einsatz von Illustrationsexperimenten im Unterricht zu minimieren.

3. Einsatzvoraussetzungen für die experimentelle Methode

Betrachten wir nun den anderen Fall:

Mittels Experiment sollen **neue Kenntnisse** gewonnen werden.

Wenn dieses Ziel verfolgt werden soll, ist vorab eine Grundsatzfrage zu stellen, von deren Antwort abhängt, welche experimentelle Methode erfolgreich einsetzbar ist.

Es ist zu fragen:

Verfügen die Schüler bereits über eine Kenntnisbasis, die sie zielgerichtet nutzen können um neue Kenntnisse über den zu behandelnden Sachverhalt dazuzugewinnen?

Zu Beginn der Behandlung eines neuen Stoffgebietes und besonders im Chemie-Anfangsunterricht liegt meistens die folgende Sachlage vor:

Die Schüler verfügen über keine oder nur unzureichende Kenntnisse über den zu behandelnden Sachverhalt. Sie besitzen keinerlei Erfahrungen und Vergleichsmöglichkeiten, die sie dazu einbringen könnten. Die Kenntnisse der Schüler über den zu behandelnden Sachverhalt reichen also nicht aus, um sie zur weiteren Kenntnisgewinnung zielgerichtet nutzen zu können.

Trotzdem kann in diesem Fall die experimentelle Methode erfolgreich eingesetzt werden, um neue Kenntnisse beim Schüler auszuprägen.

Im Unterrichtsalltag ist der Lehrer an dieser Stelle gut beraten, noch eine weitere Frage zu stellen: Ist objektiv ausreichend Zeit und Möglichkeit zum experimentellen Arbeiten vorhanden bzw. kann ich mir diesen Rahmen schaffen?

Obwohl der Zeitbedarf für das erfolgreiche Praktizieren der experimentellen Methode in der Größenordnung von 10-20 Minuten liegt (Wir sprechen hier also keineswegs von Unterrichtsstunden

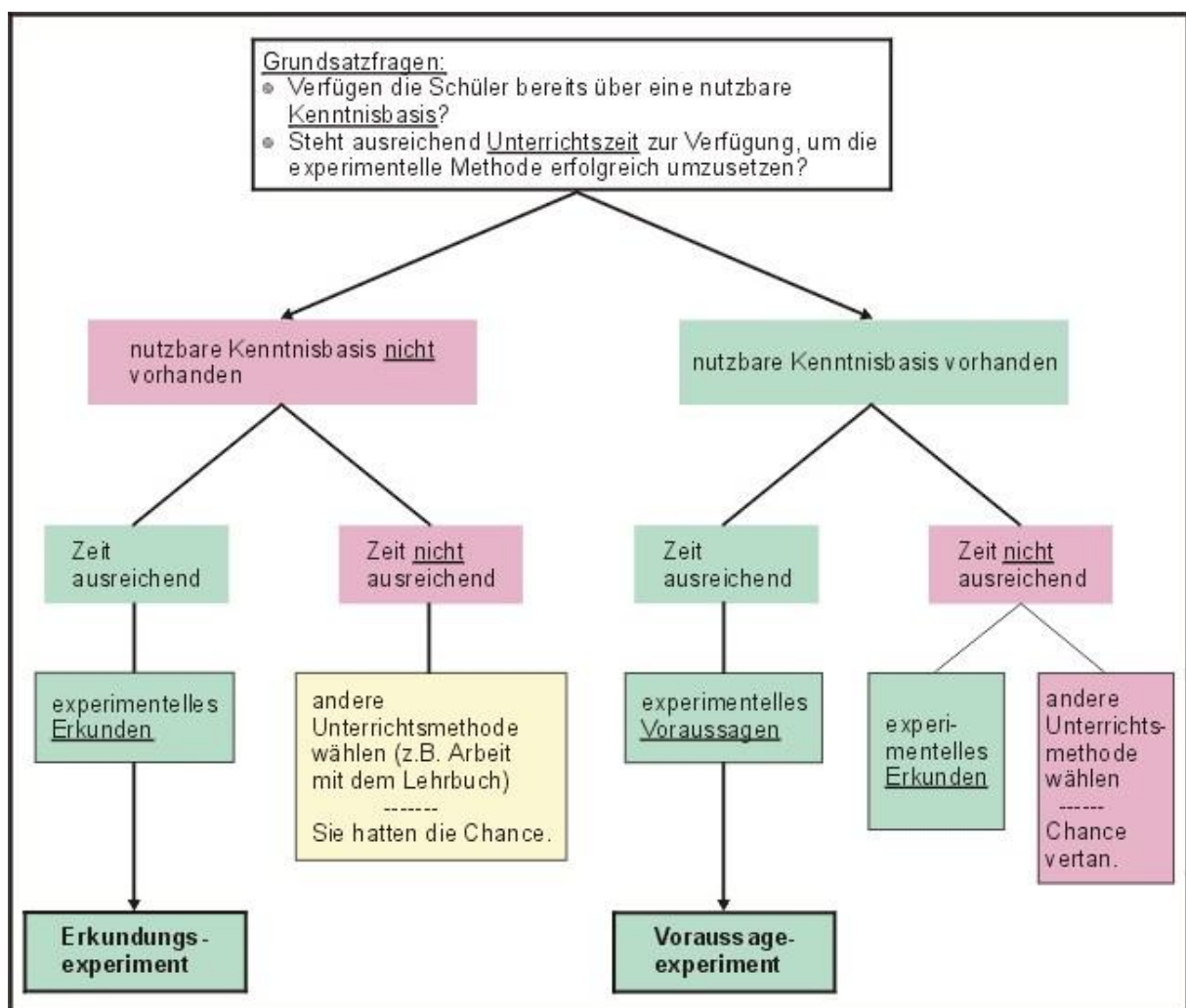
oder gar Doppelstunden!) weiß ich aus eigener Erfahrung, daß man eben an manchem Tag noch nicht einmal diese Unterrichtszeit für die experimentelle Arbeit aufbringen kann. In einem solchen Härtefall hilft dann nur, eine andere Unterrichtsmethode zu wählen, die sich schnell umsetzen läßt (z.B. die Arbeit mit dem Schulbuch). Nach einem solchen "Turbo-Unterricht" ist ein schlechtes Gewissen freilich angebracht, denn Sie hätten eine Chance gehabt, wertvolle praxisrelevante Kenntnisse und Können bei Ihren Schülern zu entwickeln.

Fassen wir zusammen:

- Verfügen die Schüler über keine oder nur über unzureichende Kenntnisse, die zum weiteren Kenntniserwerb nicht genutzt werden können und
- sind Zeit und Möglichkeit zum experimentellen Arbeiten vorhanden,

dann kann ein Sachverhalt erfolgreich experimentell erkundet werden. Im Ergebnis seiner persönlichen Planung setzt der Lehrer ein **Erkundungsexperiment** ein.

Einsatzvoraussetzungen



4. Das experimentelle Erkunden

Beispiel:

Im Chemieunterricht der Sekundarstufe ² wird festgestellt, daß Farbstofflösungen ihr Aussehen verändern können, je nachdem, ob sie sich in einem sauren, basischen oder neutralen Milieu befinden.

Aufgabenstellung könnte also sein: Wie reagieren Farbstofflösungen auf Säuren?

Wie geht man nun bei einem Erkundungsexperiment vor?

Da man noch keinerlei Kenntnisse über den Sachverhalt besitzt, probiert man es einfach aus. Daß dabei keine Gefahren auftreten, ist durch den Lehrer garantiert.

- Zuerst ist das Ausgangsniveau zu sichern.
In einer Phase der bereitstellenden Wiederholung stellt man z.B. noch einmal bekannte Farbstoff und bekannte Säuren zusammen, nennt die Formeln für die Säuren und die Farbe der Farbstoffe im "Urzustand" sowie in wäßriger Lösung.
- Nun wird die Aufgabenstellung mitgeteilt:
"Wir wollen feststellen, was passiert, wenn wir Säuren zu Farbstofflösungen geben". In unserem Beispiel ist hierbei noch weiter zu präzisieren:
"Wir wollen untersuchen, welche Wirkung der Zusatz von Essig und von Salzsäure auf die Farbstoffe Rotkohlsaft, Schwarzer Tee, Bromthymolblau und den Mischindikator "Unitest" hat".
- Es ist nun die Experimentieranordnung zu entwickeln.
Da die Reaktionen in unserem Fall ganz unkompliziert in Reagenzgläsern ablaufen, reicht es hier völlig aus, wenn wir dem Schüler mitteilen, daß wir Reagenzgläser verwenden.
- Ganz wichtig ist es jetzt, die Beobachtungsaufgabe zu stellen.
Diese Beobachtungsaufgabe orientiert den Schüler auf den gleich folgenden "Startschuß" zum Experimentieren und signalisiert, daß von jetzt an die ungeteilte Aufmerksamkeit für das zielgerichtete Beobachten gefordert ist.
In unserem Fall werden wohl an dieser Stelle noch ein paar organisatorische Maßnahmen notwendig sein, z.B.: "Die Schüler auf der Fensterreihe verwenden Essig, die Schüler auf der Wandreihe verwenden Salzsäure. Die Mädchen untersuchen Rotkohlsaft und Bromthymolblau; die Jungen untersuchen Schwarzen Tee und den Mischindikator "Unitest"". Ganz klar wird der Startschuß für's Experimentieren durch eine Aufforderung gegeben, z.B.: "Beginnt jetzt!"
- Nun wird das Experiment durchgeführt und zielgerichtet beobachtet.
- Anschließend werden die Beobachtungsergebnisse zusammengetragen.
- Schließlich werden die Beobachtungsergebnisse gedeutet und ausgewertet.

2 Derartige Inhalte sind auch schon im Sachunterricht der Grundschule erfolgreich bearbeitet worden.

Einige Bemerkungen zu den Tätigkeiten "Beobachten" und "Auswerten" von Experimenten

Der Hauptprozeß der Kenntnisk Gewinnung aus einem Experiment läuft in zwei Schritten:

1. Beobachtung
2. Auswertung

Damit der Schüler zielgerichtet und planvoll Kenntnisse gewinnen kann, ist es ungeheuer wichtig, ganz klar zwischen Beobachtung und Auswertung zu unterscheiden.

Beobachtungen sind alle die Empfindungen, die ich mit meinen Sinnesorganen wahrnehmen kann (sehen, hören, riechen, fühlen, schmecken).

In der Phase "Zusammentragen der Beobachtungsergebnisse" werden zunächst nur diese beobachteten Fakten und die Meßdaten zusammengetragen.

Ein Beobachtungsergebnis aus unserer Beispielsituation könnte lauten:

"Bei Zusatz von Essig zu Rotkohlsaft verfärbt sich diese Lösung hellrot".

Da es gilt, dem Schüler den Erkenntnisprozeß des experimentellen Erkundens bewußt zu machen, ist es wichtig, daß zunächst eine hinreichende Menge an Beobachtungsergebnissen zusammengetragen wird - ohne jegliche Wertung. Es ist streng darauf zu achten, keine Schlußfolgerungen vorweggenommen werden.

Eine inkonsequente Unterrichtsführung an dieser Stelle durch ständiges Wechseln zwischen Bemerkungen zur Beobachtung und zur Auswertung kann nicht zu klaren, sicheren Schülerkenntnissen führen. Erst wenn das "Zusammentragen der Beobachtungsergebnisse" abgeschlossen ist, darf zur Phase "Auswertung" übergegangen werden.

In der **Auswertungs**phase werden die Beobachtungsergebnisse gedeutet und gewertet. Aus den Fakten und Meßdaten werden durch weitere Informationsverarbeitungsprozesse Ergebnisse gewonnen - z.B. durch systematisieren, klassifizieren, vergleichen, zuordnen, ausschließen, verallgemeinern, konkretisieren, abstrahieren usw.. Bei chemischen Experimenten gipfelt die Auswertung meistens in der Formulierung der Reaktionsgleichung.

Fassen wir zusammen:

- Um die Schüler zu lehren, wie man mit Hilfe der experimentelle Methode Erkenntnisse gewinnt, sind im schulischen Erkenntnisprozeß die Schritte "beobachten" und "auswerten" sprachlich stets sauber voneinander abzugrenzen.
- Verfügen die Schüler über keine oder nur über unzureichende Kenntnisse, die zum weiteren Kenntniserwerb nicht genutzt werden können, ist das experimentelle Erkunden zu wählen.
- In einem Erkundungsexperiment probieren die Schüler einfach aus, was bei Realisierung der Fragestellung passiert. Anschließend werden die Untersuchungsergebnisse interpretiert.

5. Das experimentelle Voraussagen

Durch fortschreitende Unterrichtsarbeit kommt es schließlich dazu, daß die Schüler immer mehr Kenntnisse zu einem Sachgebiet anhäufen. Es wird ein Punkt erreicht, an dem das weitere experimentelle Erkunden nur noch langweilig ist und wertvolle Erkenntnispotenzen ungenutzt verkümmern. Die erreichte Quantität der Schülerkenntnisse verlangt nach einer neuen methodischen Qualität des Unterrichts.

Die Schüler verfügen jetzt über Kenntnisse, die sich nutzen lassen, um anhand eines Experimentes und durch weitere Schülertätigkeiten neue Kenntnisse über den zu behandelnden Sachverhalt zu gewinnen (z.B. durch systematisieren, klassifizieren, vergleichen, zuordnen, ausschließen, verallgemeinern, konkretisieren, abstrahieren).

Der Lehrer sollte unter diesen Voraussetzungen unbedingt die Methode des experimentellen Voraussagens anwenden und ein **Voraussageexperiment** planen.

Beispiel:

Die Schüler wissen inzwischen, daß sich das Aussehen von Farbstoffen verändern kann, je nach dem, ob man den Farbstoff mit einer Säure, einer Lauge oder mit Wasser in Verbindung bringt.

Der Lehrer stellt nun einen Stoff vor mit der Formel C_2H_5OH .

Es ergibt sich nun die Frage, welche Farbveränderung dieser Stoff bei den einzelnen Farbstoffen hervorrufen wird.

Wie ist nun weiter vorzugehen?

Man ist gut beraten, wenn man zu Beginn der Unterrichtsstunde die relevanten Wissensbestandteile zusammenfassend wiederholt hat.

In unserem Beispiel wären das die Namen und Formeln von Säuren und Laugen, die Namen und das Aussehen von ausgewählten Farbstoffen sowie das Aussehen des speziellen Farbstoffs bei Zusatz von Säure, von Lauge und von Wasser.

- Anhand der Aufgabenstellung und aufgrund des bereits vorhandenen Wissens wird nun eine Voraussage entwickelt.

In unserem Fall:

Der Stoff NaOH hat Unitest blau gefärbt. NaOH besitzt eine OH-Gruppe. NaOH ist eine Lauge.

Der Stoff mit der Formel C_2H_5OH besitzt auch eine OH-Gruppe. C_2H_5OH dürfte daher auch zu den Laugen gehören. Durch Laugenzusatz wird der Mischindikator "Unitest" blau gefärbt.

↓

Voraussage: Der Stoff mit der Formel C_2H_5OH wird den Mischindikator blau färben.

- Als nächstes wird eine experimentell prüfbare Folgerung formuliert. Üblicherweise geht das am besten in einem "Wenn-dann-Satz".

Für unser Beispiel:

"Wenn C_2H_5OH eine Lauge ist, dann wird auch C_2H_5OH den Mischindikator blau färben".

- Nun wird die Experimentieranordnung entwickelt oder erläutert.

In unserem simplen Fall reicht es vollkommen aus, wenn festgestellt wird, daß Reagenzgläser benutzt werden.

- Jetzt ist die Beobachtungsaufgabe zu stellen.

Für unser Beispiel:

"Stellt fest, wie sich die Farbe der Mischindikatorlösung beim Zutropfen von C_2H_5OH verändert!"

- Das Experiment wird nun durchgeführt.
- Anschließend werden die Beobachtungsergebnisse zusammengetragen.

In unserem Fall stellen die Schüler überrascht fest, daß sich der Farbton des Mischindikators nicht verändert hat.

- Es erfolgt nun die Auswertung.

Man vergleicht die Beobachtung mit der experimentell prüfbaren Folgerung und stellt den Wahrheitsgehalt der gemachten Voraussage fest.

In unserem Beispiel würde festgestellt, daß die gemachte Voraussage falsch war.

Man würde feststellen, daß der Stoff mit der Formel C_2H_5OH keine Lauge sein kann, da er sonst den Mischindikator hätte blau färben müssen.

In Sekundarstufe I könnte man nach dem derzeitigen Curriculum das Ergebnis dieses Voraussageexperiments dazu nutzen, um zu zeigen, wie vorsichtig beim Verallgemeinern von Aussagen vorgegangen werden muß und daß es notwendig ist, seine Aussagen immer wieder zu prüfen.

Es ist aber durchaus auch möglich, im folgenden Unterrichtsprozeß die Frage zu verfolgen, warum sich C_2H_5OH so "abartig" verhalten hat und sich mit Bau, Struktur und Bindungsverhältnissen zu beschäftigen.

Vorgehensweise



An der eben dargelegten Schrittfolge können Sie folgendes erkennen:

1. Beim experimentellen Voraussagen kommen bestehende **Zusammenhänge viel deutlicher** zum Ausdruck, als beim experimentellen Erkunden. Das experimentelle Voraussagen setzt zwar voraus, daß der Schüler bereits grundlegende Kenntnisse zum Sachgebiet besitzt; diese Kenntnisstruktur erreicht aber eine höhere Qualität.
2. Beim experimentellen Voraussagen eröffnen sich zwei entgegengesetzte Erkenntnisrichtungen. Die zugrundeliegende Voraussage erweist sich entweder als richtig, oder sie erweist sich als falsch.
3. Es ist eine äußerst wertvolle Erfahrung für den Schüler, wenn er erleben muß, daß seine anscheinend sehr fundiert gemachte Aussage eben nicht bestätigt wird.
4. Ein Voraussageexperiment, durch das die gemachte Voraussage nicht bestätigt wird, beinhaltet ungeahnte Erkenntnispotenzen. Es kann einen enormen Erkenntnisschub auslösen. Es motiviert, macht neugierig und bringt in das Unterrichtsgeschehen wieder neuen Schwung. Um einen interessanten, motivierenden Unterricht zu gestalten, ist es also wichtig, daß Voraussageexperimente nicht immer "glatt" verlaufen.

Wichtige Hinweise zur Unterrichtsplanung

1. Ein geplantes Voraussageexperiment kann im Unterrichtsverlauf notfalls noch zum Erkundungsexperiment umgestaltet werden, wenn sich in der Anfangsphase plötzlich herausstellt, daß der Lehrer Quantität bzw. Qualität der Schülerkenntnisse falsch eingeschätzt hat und das vorliegende Niveau eben nicht zum erfolgreichen Voraussagen ausreicht.
2. Ein einmal begonnenes Erkundungsexperiment läßt sich aber nicht mehr in ein Voraussageexperiment "umbiegen", auch wenn der Lehrer während der Arbeit feststellt, daß die Schülerkenntnisse zum experimentellen Voraussagen ausreichen würden.
3. Bei Hospitationen erlebt man manchmal, daß der Lehrer beim experimentellen Erkunden unmittelbar vor der Durchführung des Experiments die Schüler plötzlich fragt, welche Beobachtungen sie denn erwarten. Diese Frage halte ich für einen groben Fehler. Sie verwirrt die Schüler beim Erlernen der experimentellen Methode. Bei einem Erkundungsexperiment ist das Vermutungen unmöglich! Da das Erkunden ja gerade deshalb eingesetzt wird, weil die Kenntnisbasis beim Schüler eben nicht ausreicht, um eine begründete Vermutung zum Sachverhalt zu entwickeln, muß die Schülerantwort zur Raterei und Spekulation werden. Der Schüler sagt halt irgend etwas, um bloß wieder in Ruhe gelassen zu werden, und das kann leicht mit Disziplinproblemen enden. Werden so elementare Fehler gemacht, wird der Schüler niemals lernen können, wie man mittels experimenteller Methode zielgerichtet und systematisch neue Erkenntnisse gewinnt.
4. Wie Sie deutlich erkennen können, ist das "experimentelle Voraussagen" aufwendiger als das "experimentelle Erkunden". Der Einsatz des Experiments erfolgt beim "experimentellen Voraussagen" viel später als beim "experimentellen Erkunden".
5. Die methodischen Schritte eines Voraussageexperiments müssen im Unterricht alle komplett realisiert werden, um das Unterrichtsziel zu erreichen. Ein Unterbrechen ist nicht möglich und führt zum vollständigen Verlust des bis dahin erzielten Kenntniszuwachses. Sind hingegen bei einem Erkundungsexperiment die Beobachtungsergebnisse fixiert, lassen sich die restlichen Schritte notfalls in der nächsten Unterrichtsstunde oder als Hausaufgabe fertigstellen. Wenn der Ihnen zur Verfügung stehende zeitliche Rahmen also stark begrenzt ist, sind Sie manchmal gezwungen, sich für experimentelles Erkunden zu entscheiden, obwohl die Methode des experimentellen Voraussagens durchaus angebrachter wäre. Dieser Kompromiß ist dann aber immer noch besser, als gänzlich auf den Einsatz der experimentellen Methode zu verzichten.

Fassen wir zusammen:

- Verfügen die Schüler bereits über Kenntnisse, die sich nutzen lassen, um anhand eines Experimentes neue Erkenntnisse dazuzugewinnen, ist das experimentelle Voraussagen zu wählen.
- Beim experimentellen Voraussagen stellt der Schüler aufgrund seiner vorhandenen Kenntnisbasis eine begründete Vermutung auf, die anschließend in einem Experiment überprüft wird.
- Es kann sich herausstellen, daß die Vermutung richtig oder falsch ist.

- Beide Resultate bringen dem Schüler einen Erkenntniszuwachs.
- Häuft sich im Unterricht der Einsatz von Voraussageexperimenten, die alle nur die Voraussage bestätigen, wirkt der Unterricht schnell eintönig und langweilig.
- Voraussageexperimente, in deren Verlauf die Voraussage nicht bestätigt wird, lösen eine Motivations- und Kenntnisschub aus.
- Da der Prozeß des experimentellen Voraussagens nicht unterbrochen werden kann, ist es notwendig, dafür von vorn herein ausreichend Zeit einzuplanen. Kann der notwendige Zeitfonds nicht sichergestellt werden, sollte auf experimentelles Erkunden ausgewichen werden.

6. Was schreibt man auf? Möglichkeiten des Fixierens von Vorgehensweise und Ergebnissen beim Experimentieren

Das Fixieren von Ergebnissen aus Experimenten ist in der Schule oft ein Problem. Ist schon nicht immer Gelegenheit, um zu experimentieren - das Protokollieren ist noch seltener. Meiner Meinung nach ist das mühevollen Anfertigen eines ausführlichen Protokolls keineswegs immer nötig. Es ist nur wichtig, die Ergebnisse der experimentellen Arbeit so zu fixieren, daß relevante Dinge nicht verloren gehen und später wieder darauf aufgebaut werden kann.

Hier ein Vorschlag zur Fixierung unseres eingangs herangezogenen Beispiels "Reaktion von Säuren mit Farbstofflösungen":

Protokollieren eines Erkundungsexperiments

Reaktion von Säuren mit Farbstofflösungen			
Ausgangsstoffe		Beobachtungen	Auswertung
Salzsäure	Rotkohlsaft	- Rotkohlsaft färbt sich rot.	<u>Säuren verändern das Aussehen von Farbstoffen.</u>
Salzsäure	Schwarzer Tee	- Schwarzer Tee wird heller.	
Salzsäure	Bromthymolblau	- Bromthymolblau-Lösung färbt sich gelb.	
Salzsäure	Unitest	- Unitest färbt sich rot.	
Essigsäure	Rotkohlsaft	- Rotkohlsaft färbt sich rot.	
Essigsäure	Schwarzer Tee	- Schwarzer Tee wird heller.	
Essigsäure	Bromthymolblau	- Bromthymolblau-Lösung färbt sich gelb.	
Essigsäure	Unitest	- Unitest färbt sich rot.	

Für das effektive Protokollieren eines **Erkundungsexperiments** schlage ich folgendes vor:

1. Die ausführliche **Aufgabenstellung** gestaltet man zu einer **Überschrift** um.
Das ist oft problemlos möglich. Es präzisiert die Fragestellung auf den eigentlichen Kern und spart viel Schreibarbeit.
2. Die relevanten Bestandteile des experimentellen Erkundens werden in einer **Tabelle** fixiert:
Ausgangsstoffe, Beobachtung, Auswertung.
3. Das Experiment wird bereits durchgeführt, nachdem die Namen der Ausgangsstoffe eingetragen sind. Die weitere Arbeit an der Tabelle kann in selbständiger Schülerarbeit erfolgen. Das aktiviert die Schüler.
4. Da bei arbeitsteiligem Experimentieren nur jeweils eine Zeile mehr zu notieren ist, als bei arbeitsgleichem Vorgehen, können auch an schmalen Tafeln die **Ergebnisse aller Schüler** fixiert werden.

In einem fortgeschrittenen Chemieunterricht wird sicher die folgende Variante notwendig:

Protokollieren eines Erkundungsexperimentes

Chemische Reaktion von Metalloxiden mit Säurelösungen			
Ausgangsstoffe	Beobachtungen	Auswertung	
MgO; H ₂ SO ₄	- klare Lösung entsteht - nach Eindampfen bleibt weißer Rückstand	<u>Es ist ein Salz entstanden.</u>	$\text{MgO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
MgO; HCl			$\text{MgO} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
MgO; HNO ₃			$\text{MgO} + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$
...			
...			
...			

5. Damit die Schüler für ihre Aufzeichnungen ausreichend Platz haben, ist es mitunter notwendig, die Blätter im **Querformat** zu beschreiben. Möchte man das nicht, dann ist es z.B. im vorliegenden Fall problemlos möglich, die Zeilen der Tabelle zu numerieren und die Reaktionsgleichungen numeriert unter die Tabelle zu schreiben. Das wäre dann z.B. auch als Hausaufgabe möglich.

6. Eine Möglichkeit für ein **Tafelbild** auf extrem engen Raum zeigt dieses Beispiel.

Chemische Reaktion von Metalloxiden mit Säurelösungen			
	H ₂ SO ₄	HCl	HNO ₃
MgO			
CuO			
ZnO			
CaO			

Die einzelnen Arbeitsergebnisse lassen sich in dieser Tabelle in vielfältiger Weise zusammenfassen:

- Man könnte die Formeln der Reaktionsprodukte eintragen, die man erhalten hat.
- Man könnte jeweils Nummern eintragen und anschließend an anderer Stelle dazu die entsprechenden Reaktionsgleichungen notieren.
- Man könnte ein + eintragen, wenn diese Reaktion abgelaufen ist, und ein - , wenn diese Reaktion nicht abläuft, usw. usf..

Schauen wir uns nun vergleichend dazu Protokollierungsmöglichkeiten für **Voraussageexperimente** an.

Als Beispiel dient die vorhin schon diskutierte Problematik "Vergleichende Untersuchung der Reaktion von Natronlauge und von Ethanol mit Mischindikatorlösung".

Protokollieren eines Voraussageexperiments

Reaktion von Natronlauge (NaOH) und von Ethanol (C ₂ H ₅ OH) mit Unitestlösung			
Ausgangsstoffe		erwartete Beobachtungen	tatsächliche Beobachtungen
NaOH	Unitest-Lösung	- Unitest-Lösung wird sich blau färben, da NaOH eine OH-Gruppe enthält.	- Unitest-Lösung hat sich blau gefärbt.
Schlußfolgerung: Unsere Vermutung hat sich bestätigt. Da Natriumhydroxid-Lösung Hydroxid-Ionen enthält, hat sich Unitest-Lösung blau gefärbt. Natriumhydroxid ist eine Base (Lauge).			
C ₂ H ₅ OH	Unitest-Lösung	- Unitest-Lösung wird sich blau färben, da C ₂ H ₅ OH eine OH-Gruppe enthält.	- Unitest-Lösung hat sich nicht verfärbt!
Schlußfolgerung: Unsere Vermutung war falsch! Da Ethanol-Lösung Unitest-Lösung nicht blau gefärbt hat, können in Ethanol-Lösung keine Hydroxid-Ionen enthalten sein. <u>Ethanol ist also keine Base (Lauge), sondern muß einer anderen Stoffgruppe angehören.</u>			

Das Aussehen dieser Tabelle ähnelt den eben gezeigten sehr. Sie entsteht aber auf eine andere Art und Weise.

1. Die **Aufgabenstellung** ist auch hier als **Überschrift** gestaltet.
2. Die Tabellenspalten sind aber hier überschrieben mit den Begriffen "**Ausgangsstoffe**", "**erwartete Beobachtungen**" und "**tatsächliche Beobachtungen**". Außerdem ist unter der Tabelle noch eine "**Schlußfolgerung**" formuliert.
3. Protokolliert man ein Voraussageexperiment, dann erfolgt die Durchführung des Experiments erst, nachdem die Ausgangsstoffe und die erwarteten Beobachtungen fixiert worden sind. Im Unterrichtsgeschehen ist das mitunter ein längerer Prozeß.
4. Die "tatsächlichen Beobachtungen" und die "Schlußfolgerung" sind anschließend recht schnell fixiert.
5. Das vorliegende Beispiel zeigt, daß es auch gut möglich ist, Experimente nach verschiedenen methodische Varianten nacheinander zu protokollieren.

Sie sehen hier eine Kombination eines Voraussageexperimentes mit anschließender Bestätigung und eines Voraussageexperimentes mit anschließender Ablehnung der Voraussage.

Im fortgeschrittenen Chemieunterricht könnte das Protokoll für ein Voraussageexperiment dann wie folgt aussehen:

<u>Chemische Reaktion von Metalloxiden mit Säurelösungen</u>		
Ausgangsstoffe	erwartete Reaktionsprodukte	erwartete Beobachtungen
MgO	MgSO ₄	- entstehen einer Lösung
H ₂ SO ₄	H ₂ O	- Bildung von Kristallen beim Eindampfen
Schlußfolgerung: ...		

Beim Anfertigen eines solchen Protokolls ist kaum mit technischen Schwierigkeiten zu rechnen.

Fassen wir noch einmal zusammen:

Ein rationelles Protokollschema ist folgendermaßen zu erhalten:

1. Die Aufgabenstellung wird in einer Überschrift zusammengefaßt.
2. Eine beschriftete Skizze ersetzt die unübersichtlichen Geräte- und Chemikalienlisten und gibt gleichzeitig Auskunft über Geräteanordnung und Apparaturaufbau. So ist außerdem eine schnelle Orientierung über die Gesamtanlage des Experiments möglich.

Über diesen Punkt haben wir heute überhaupt noch nicht gesprochen. Diese Problematik allein gäbe sicherlich Stoff für einen weiteren Vortrag.

3. Nach dem Durchführen des Experiments sind die Beobachtungsergebnisse zu fixieren.
4. Im auswertenden Abschnitt erfolgt schließlich die Deutung der Beobachtungen. Evtl. werden dazu Reaktionsgleichungen formuliert.

7. Resümee

Die Schulpraxis zeigt, daß ausführliche Protokolle nur wenige Male im Schuljahr anfertigt werden können. Die eben gezeigten kurzen Übersichten kann man immer anfertigen - egal ob als Tafelbild, Folie oder Arbeitsblatt. Der Schüler übt sich auf diese Weise auch immer wieder im Erkennen und Fixieren relevanter Sachverhalte der praktischen Arbeit. Das schult und lehrt ihn, an die praktischen Probleme des Alltages planvoll heranzugehen, und er erwirbt damit ein wichtiges Stück Allgemeinbildung.

Ich denke, es ist folgendes deutlich geworden:

Das Einbeziehen von Experimenten in den Unterricht setzt nicht nur voraus, daß der Lehrer entsprechende Versuchsanleitungen kennt und die notwendigen Rahmenbedingungen hat, sie

umzusetzen. Die Durchführung von Experimenten im Unterricht setzt auch voraus, daß der Lehrer den Erkenntnisprozeß des Schülers mit dem Experiment effektiv planen und steuern kann.

Ich hoffe, ich habe Ihnen dazu ein paar alltagstaugliche Anregungen gegeben.