

**Reihe „Pädagogik und Fachdidaktik für LehrerInnen“**

Herausgegeben von der

**Abteilung „Schule und gesellschaftliches Lernen“**

des Interuniversitären Instituts für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung

Gerhard Kern

## **Schülerexperiment und Verstehen im Chemieunterricht**

PFL-Naturwissenschaften, Nr. 39

IFF, Klagenfurt 1999

Redaktion:  
Thomas Stern

Die Universitätslehrgänge „Pädagogik und Fachdidaktik für LehrerInnen“ (PFL) sind interdisziplinäre Lehrerfortbildungsprogramme der Abteilung „Schule und gesellschaftliches Lernen“ des IFF. Die Durchführung der Lehrgänge erfolgt mit Unterstützung von BMUKA und BMWV.

# Schülerexperiment und Verstehen im Chemieunterricht

## Anregungen für die Praxis

(Abstract/Kurzfassung)

In Anknüpfung an eine im Vorjahr durchgeführte Studie („Was bringt das Experiment für das Verständnis?“) bin ich der damals offengebliebenen Frage nachgegangen „Wie müssen Schülerexperimente beschaffen sein, dass sie das Verständnis fördern?“

Eine erste Antwort habe ich durch Schüleraussagen bzw. deren Interpretation erhalten und daraus für mich eine Art „Leitfaden“ erstellt, der mir in Hinkunft bei der Planung weiterer Experimente eine Hilfe sein wird. Inwieweit der „Leitfaden“ anderen Lehrern dienlich sein kann, wird davon abhängen, in welchem Maße die Art ihrer Schülerexperimente der meinen ähnelt.

Unabhängig von der speziellen Art der Experimente scheint aus Schülersicht die Erfüllung dreier Kriterien wesentlich, wenn Verstehen gefördert werden soll:

- Das Experiment muss auf die Unterrichtssituation abgestimmt sein. (Theoretische Kenntnisse und praktische Fertigkeiten der Schüler sind zu berücksichtigen.)
- Die Komplexität der Aufgaben soll die Schüler fordern, aber nicht überfordern. (Die Anwendung und Verknüpfung bereits vorhandenen Wissens soll möglich und notwendig sein.)
- Für die Auswertung des Experiments in der Gruppe und für die Nachbesprechung in der ganzen Klasse muss ausreichend Zeit zur Verfügung stehen, um aufgebrochene Fragen zu klären, Ideen auszutauschen und Missverständnisse zu beseitigen.

Abgesehen davon, dass mir ein Leitfaden vorschwebt, der mehr Dimensionen als der hier vorgelegte abdeckt, bleiben zwei nicht ganz neue Fragen vorläufig noch offen:

- 1) Wie kann ich Verstehen überprüfen?
- 2) Was geht in den Köpfen der Schüler vor, wenn sie ein Problem nicht lösen können?

Mag. Gerhard Kern  
BG/BRG/BORG Eisenstadt  
A-7000 Eisenstadt

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2 Meine Forschungsfrage</b>	<b>4</b>
<b>3 Die Daten</b>	<b>5</b>
3.1 Gewinnung der neuen Daten	6
3.1.1 Rahmenbedingungen	6
3.1.2 Einbettung der Redox-Serie ins Gesamtkonzept	6
3.2 Behandlung der Daten	6
3.2.1 Interviews	6
3.2.2 Fragebogen	6
3.2.3 Von Schülerstatements zu Handlungshilfen	7
<b>4 Schüleraussagen - Daten konkret</b>	<b>7</b>
4.1 Voraussetzungen	7
4.1.1 Theoretisches Vorwissen	7
4.1.2 Handling von Geräten und Chemikalien	7
4.1.3 Organisatorische Voraussetzungen	8
4.2 Arbeitsanleitungen	8
4.3 Durchführung, Beobachtung	9
4.4 Auswertung	9
4.4.1 Aufgaben bzw. Hinweise zur Auswertung des Experiments	9
4.4.2 Spontane Hilfestellung durch den Lehrer	10
4.5 Nachbesprechung	10
<b>5 Erster Entwurf für (m)einen Leitfaden zur Planung verstehensfördernder Schülerexperimente</b>	<b>11</b>
5.1 Voraussetzungen	11
5.1.1 Theoretisches Vorwissen	12
5.1.2 Handling von Geräten und Chemikalien	12
5.1.3 Organisatorische Voraussetzungen	12
5.2 Arbeitsanleitungen	13
5.3 Durchführung, Beobachtung	13
5.4 Auswertung	14
5.4.1 Aufgaben bzw. Hinweise zur Auswertung des Experiments	14
5.4.2 Spontane Hilfestellung durch den Lehrer	15
5.5 Nachbesprechung	15
<b>6 Rückblick und Ausblick</b>	<b>15</b>
6.1 Zusammenfassung	15
6.2 Kritik	16
6.3 Offene Fragen	16
6.4 Konsequenzen	17
<b>7 Quellen</b>	<b>18</b>
8.1 Eigene Daten	18
8.2 Literatur	18
Anhang 1: Vergleich der Hypothesen mit den Fragebogenergebnissen	19
Anhang 2: 3 Versuche zu Redoxreaktionen	22
Anhang 3: Fragebogen	24

*„Und immer wieder muss ich feststellen:  
Ich kenn' die Theorie genau, die versteh' ich,  
aber trotzdem fehlt ma da was.  
Wieso komm' i jetzt net drauf?“*

[INT 2/4/7,24-27]

## 1. Einleitung

Im Schuljahr 1996/97 musste ich feststellen, dass es Schülern sehr schwer fällt, die Beobachtungen während eines Experiments mit ihrem theoretischen Wissen in Zusammenhang zu bringen. Konkret sollten die Schüler eine Serie von drei Redoxreaktionen durchführen und mit Hilfe der Beobachtungen und der bereits gelernten Theorie die Reaktionsgleichungen dafür aufstellen.<sup>1</sup> Überraschenderweise ist das auch sehr guten Schülern mit Olympiade-Erfahrung ohne meine Hilfe nicht gelungen. Diese für mich einschneidende Erfahrung möchte ich im Folgenden kurz die „Redox-Krise“ nennen. Aus dieser „Krise“ heraus entstand meine erste Studie mit dem Titel *„Was bringt das Experiment für das Verständnis?“*<sup>2</sup>

Ich wollte natürlich herausfinden, woran meine Schüler gescheitert waren und was ich an den Experimenten verändern müsste, um den gewünschten Erfolg zu erzielen. Also habe ich Vermutungen über die Ursachen des Misserfolgs angestellt, um die Experimente in abgeänderter Form erneut einer Klasse vorzulegen. Schließlich entstand durch Einbeziehung von Schülersichtweisen ein sehr persönlicher erster Entwurf eines „Leitfadens“<sup>3</sup> für das Entwickeln verständnisfördernder Schülerexperimente, von dem ich mir eine Verbesserung meines Experimentalunterrichts erhoffe.

## 2. Meine Forschungsfrage

Offensichtlich hatte ich bei der Gestaltung der Schülerexperimente etwas falsch gemacht. Was ich mir erhofft hatte, war nicht eingetreten, nämlich, dass die Schüler durch eigenes Experimentieren und durch meine Fragen zur Auswertung des Experiments dazu angeregt und befähigt werden, Wissen zu verknüpfen und so den Lehrstoff besser zu verstehen. Das bessere Verständnis hätte sich während der praktischen Arbeit und vor allem bei der Auswertung der Beobachtungen von selbst einstellen sollen. Es scheint so, dass der Wert einer Schülerübung wesentlich davon abhängt, wie man sie anlegt und in das Gesamtkonzept des Unterrichts einbettet. Aus der Redox-Krise ergibt sich somit unmittelbar meine Forschungsfrage:

---

<sup>1</sup> Arbeitsvorschrift und Beschreibung der Unterrichtssituation im Anhang von [KERN]

<sup>2</sup> [KERN]

<sup>3</sup> Zweifellos erfasst mein Entwurf eines „Leitfadens“ die Problematik nur bruchstückhaft. Er ist also weniger „Stein der Weisen“ als (hoffentlich) „Stein des (Denk-) Anstoßes“. Der Kürze halber verwende ich die Bezeichnung „Leitfaden“ dennoch. Die Anführungszeichen sollen dabei stets den fragmentarischen Charakter in Erinnerung halten.

## Wie muss ich Schülerexperimente anlegen, dass sie das Verstehen fördern?

Im Bild vom Wissensnetz<sup>4</sup> wird das Verstehen durch alle Aktivitäten gefördert, die dazu führen, dass neue Knoten (neue Wissens Elemente) und neue Fäden (neue Zusammenhänge) ins Netz des vorhandenen Wissens dauerhaft eingebaut werden und das erweiterte Netz bei Bedarf zur Verfügung steht. Die Metapher „Lernen als Konstruieren von Bedeutungsgehalten“<sup>5</sup> drückt genau dasselbe aus: Der Lernende schafft sich durch neue Erfahrungen mit Hilfe seiner Vorkenntnisse neues Wissen oder erweitert bereits vorhandenes. „Er versteht einen Sachverhalt, indem er ihn mit seinen Mitteln nachbaut.“ Ich würde meinen, er versteht, wenn sich bei der Einbettung ins Netz (u.U. nach Neuorganisation desselben) keine Widersprüche mehr ergeben. Verstehen ist ja durchaus etwas Vorläufiges.

Ausgehend von dieser Vorstellung und gestützt auf Aussagen meiner Schüler habe ich mit dem „Leitfaden“ in Kap. 5 eine vorläufige Antwort auf die Forschungsfrage versucht.

In diesem Zusammenhang möchte ich auch auf [SCHMIDKUNZ]<sup>6</sup> verweisen: „*Man kann wohl sagen, dass es bisher noch keine allgemeingültige ‚Theorie des Experimentes im Chemieunterricht‘ gibt, aber das Experiment bietet auch ungeahnte Möglichkeiten, den Lernprozess motivierender und effektiver zu gestalten.*“

### 3. Die Daten

Meine Daten entstammen zweier Quellen. Die ältere Quelle sind die Schülerinterviews, die bereits im Januar 1998 mit der RG-Klasse für die erste Studie durchgeführt wurden (Details siehe dort). Fragebögen im Anschluss an die neue Version der Redox-Serie bilden die neuere Datenquelle.

#### 3.1 Gewinnung der neuen Daten

Die möglichen Ursachen für die „Redox-Krise“ habe ich als Hypothesen formuliert und zu jeder Hypothese Abhilfen vorgeschlagen, die in die Neugestaltung der Redox-Serie eingeflossen sind.<sup>7</sup>

Um die Wirksamkeit der Abhilfen zu testen, habe ich die verbesserte Versuchsserie<sup>8</sup> im Schuljahr 1998/99 erneut in einer siebten Klasse eingesetzt. Ein Fragebogen<sup>9</sup> nach den Experimenten sollte den Erfolg kontrollieren.

---

<sup>4</sup> [KONKRETE FACHDIDAKTIK], S. 134 und [KERN], S. 2 und 4-7

<sup>5</sup> [POSCH], S. 161

<sup>6</sup> [SCHMIDKUNZ], S. 12

<sup>7</sup> Die Hypothesen, Abhilfen und der Vergleich der Hypothesen mit den Antworten aus den Fragebögen finden sich in Anhang 1.

<sup>8</sup> Anhang 2

<sup>9</sup> Anhang 3

### **3.1.1 Rahmenbedingungen**

Es ist wohl ehrlichkeitshalber zu sagen, dass die Rahmenbedingungen für die Überprüfung der Wirksamkeit meiner Änderungen nicht gerade optimal waren. Ich hatte eine G-Klasse mit 28 Schülern. Es liegt auf der Hand, dass RG-Klassen mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt (dort ereignete sich die „Redox-Krise“) und die jetzt zur Verfügung stehende Klasse nicht direkt vergleichbar sind.

### **3.1.2 Einbettung der Redox-Serie ins Gesamtkonzept**

Relativ früh im Schuljahr wurde die Problematik von Nachweis und Identifizierung von Stoffen besprochen. Im Zuge dessen ließ ich die für die Redox-Experimente 1 und 2 benötigten Nachweisreaktionen zusammen mit einigen anderen Standardnachweisen im Schülerexperiment erarbeiten. Damit waren Nachweis und Hauptversuch entkoppelt.<sup>10</sup>

Die Behandlung von Redox-Reaktionen im Unterricht erfolgte unter anderem mit Demonstrationsexperimenten sowie Rechenaufgaben, insbesondere Aufgaben zum Aufstellen von Reaktionsgleichungen mit der Methode der Halbreaktionen. Die Redox-Serie im Mai 1999 sollte den Abschluss des Kapitels bilden.

Vor der geplanten Experimentalstunde trug ich den Schülern auf, die Nachweisreaktionen zu wiederholen (siehe Hyp 4). Aus Zeitmangel und auf Grund der großen Schülerzahl habe ich selber die Experimente vorgeführt und zusammen mit der Klasse die Beobachtungen gesammelt. Es hatte also jeder zur Auswertung die „richtige“ Ausgangsposition. Im Nachhinein betrachtet war diese Konstellation vielleicht gar nicht so ungünstig, weil dadurch das Endergebnis vom experimentellen Geschick unabhängig wurde und für alle Gruppen dieselbe Zeit (auch in ausreichendem Maße) zur Verfügung stand (siehe Hyp 5). Insgesamt wurden für Experimente und Auswertung zwei einzelne Unterrichtsstunden verwendet. Die Fragebögen wurden in der darauffolgenden Woche beantwortet.

## **3.2 Behandlung der Daten**

### **3.2.1 Interviews**

Die Transkripte der Interviews wurden nach für die Forschungsfrage relevanten Aussagen durchsucht, diese der Reihe nach nummeriert und auf Kärtchen geschrieben. Die Kärtchen wurden nach Ähnlichkeiten und Gemeinsamkeiten geordnet (zB Aussagen über die Gestaltung der Arbeitsvorschrift, Zeiteinteilung, Voraussetzungen usw.). Diese Ordnung lieferte zunächst eine Strukturierung der Schüleraussagen und in weiterer Folge das Gerüst für den „Leitfaden“.

### **3.2.2 Fragebogen**

Der Fragebogen enthält sowohl Entscheidungs- als auch Ergänzungsfragen (offene Fragen). Für die vorliegende Arbeit wurden im Wesentlichen die Antworten auf die offenen Fragen herangezogen. Diese Antworten wurden fragenweise gesammelt und daraus jene ausgewählt, die mir im Sinne der Forschungsfrage bedeutsam erschienen. Die relevanten Aussagen wurden wiederum auf Ähnlichkeiten und Gemeinsamkeiten hin untersucht und in die strukturierten Interviewdaten eingeordnet.

---

<sup>10</sup> siehe Hyp 1, Anhang 1

### 3.2.3 Von Schülerstatements zu Handlungshilfen

Von den geordneten Schüleraussagen (Kap. 4) ließ ich mich einerseits zur Formulierung von Fragen inspirieren, die sich der Lehrer bei der Planung eines Experiments stellen sollte, andererseits zu Fragen, die für die Schüler bei der Bearbeitung der Aufgaben hilfreich sein könnten. Darüber hinaus sind wichtige Hinweise in den „Leitfaden“ integriert, die ebenfalls aus Äußerungen meiner Schüler abgeleitet sind. Die Schülerstatements sind mit einem ♦ versehen und fortlaufend nummeriert.

## 4. Schüleraussagen - Daten konkret

Im diesem Kapitel haben nahezu ausschließlich Schüler das Wort. Lediglich dort, wo es mir notwendig erschien, habe ich eine Interviewfrage oder eine Frage aus dem Fragebogen angeführt. Leerzeilen zwischen Blöcken von Zitaten grenzen verschiedene Aspekte voneinander ab. Die Ordnung hier entspricht bereits dem Gerüst für den „Leitfaden“ in Kap. 5.

### 4.1 Voraussetzungen

#### 4.1.1 Theoretisches Vorwissen

- ♦<sub>1</sub> *„Ich schätz’ einmal, es ist sicher wichtig, dass man weiß, dass die Eiweiße denaturieren, weil sonst [...] könnte ja da alles mögliche drinnen passieren in dem Glas, [...] und was dann noch wichtig [...] zu wissen ist, dass das Pepsin ein Enzym ist und eben, dass ein Enzym nur ein Katalysator ist [...], weil sonst kommt man wirklich nicht dahinter, [...] wie jetzt die Reaktion abläuft und - also ein bisschen Grundwissen sollte schon da sein.“* [INT 4/8/4,21-31]
- ♦<sub>2</sub> *„Es sollte schon ein bestimmtes Quantum an Basiswissen vorhanden sein, bevor man irgendwelche Experimente ansetzt, von denen eben der Ausgang nicht ganz klar ist. [...] Also wenn ich drei Flüssigkeiten hab’ und sag’, die und die werden blau und die werden rot, wenn man diese Säure dazuschüttet oder so, dann ist das meiner Meinung nach kein Experiment, für das man Vorwissen braucht, aber wenn man da jetzt irgendwie bei diesem Experiment ein Wort hinschmeißt, Pepsin, und der Schüler keine Ahnung hat, was er damit anfangen soll, dann kann er das nicht einordnen und auch keine weiterführenden Gedanken damit machen.“* [INT 4/9/4,33-42]
- ♦<sub>3</sub> *„Na gut, du gehst ja in alles, was mit Chemie zu tun hat“* [INT 4/9/8,39]

#### 4.1.2 Handling von Geräten und Chemikalien

- ♦<sub>4</sub> *„Für mich das Schwierigste war eigentlich das Pipettieren am Anfang, weil da muss man doch genau arbeiten, wenn man genaue Ergebnisse haben will und also mit dem Peleusball und so, das war nicht ganz klar am Anfang, aber mittlerweile hat sich dieses Problem auch gelöst.“* [INT 3/5/7,49-52]
- ♦<sub>5</sub> *„...da wir eigentlich schon mehrere Experimente gemacht haben, [...] haben wir uns während der Arbeit [...] eher leicht getan mit dem Umgang mit den Chemikalien und mit den Geräten...“* [INT 3/5/1,8-10]
- ♦<sub>6</sub> *„Am Anfang ist mit der Säure, vielleicht hat man da noch Angst, Salzsäure zum Beispiel (murmelt) gefährlich. Wenn ma’s dann öfter über die Finger kriegt oder die Kollegen auch...“* [INT 3/6/8,7-9]

Welche Nachteile haben Schülerexperimente deiner Meinung nach?<sup>11</sup>

- ♦<sub>7</sub> *„Schüler können sich dabei verletzen (Säure usw.)“* [FB2/3a]
- ♦<sub>8</sub> *„Ich bin sooo ungeschickt → Verletzungsgefahr“* [FB4/3a]

---

<sup>11</sup> Frage Nr.3 des Fragebogens

- ◆9 „*sie können [gemeint sind die Schüler, d. Verf.] falsche Stoffe zusammentun und etwas Hochgiftiges produzieren*“ [FB2/3b]
- ◆10 „*Manche gehen leichtfertig mit Substanzen um → gefährlich*“ [FB4/3b]
- ◆11 „*Risiko durch Unachtsamkeit des Schülers*“ [FB6/3b]
- ◆12 „*wenn man etwas Falsches hinzugibt, weiß man nicht, was passiert → Reaktion könnte sein, dass das Reagenzglas überläuft*“ [FB23/3b]

### 4.1.3 Organisatorische Voraussetzungen

- ◆13 „*Es war alles vom Lehrer schon vorbereitet und es war dann leichter, viel leichter, als wenn man selber die Geräte aussuchen muss.*“ [INT 2/3/1,49-50]
- ◆14 „*Unter vier ist sicher günstig...und drüber is's sicher problematisch [INT 3/7/6,31-33]. Dann bilden sich auch wieder Gruppen in der Gruppe und...[...] Zwei ist wieder zu wenig, würde ich sagen. [...] ...man könnte ja bei einer strittigen Frage in eine Patt-Situation kommen (lacht), bei drei...*“ [INT 3/6/6,34-39]
- ◆15 „*Drei finden ein Ergebnis dann bei der Ausarbeitung sicher auch schneller als zwei. Weil, wenn zwei vielleicht nicht weiterkommen, weiß der Dritte die Antwort und gibt so wieder einen Denkanstoß an seine Gruppenpartner.*“ [INT 3/7/6,40-42]
- ◆16 „*Die Gruppen sollten halt eher ausgewogen sein. Also nicht nur die besten von einer Klasse vielleicht, damit nicht irgendwelche Konkurrenz...*“ [INT 3/6/6,25-26]
- ◆17 „*Für mich wär' eigentlich mehr Zeit für's Auswerten nötig als für das Experiment selber, also ich würd' sagen vierzig/sechzig. [...] Ja, also nur jetzt die Beschäftigung selbst mit den Fragen, mein' ich damit, also das Gespräch nachher gehört nicht dazu.*“ [INT 3/5/2,48-3,7]

## 4.2 Arbeitsanleitungen

- ◆18 „*Na, also rein vom Experiment her muss ma' ja sagen ist das im Prinzip wie ein Rezept, das da jetzt eigentlich nur nachgemacht wird und es ist auch vielleicht ein bisschen wenig Initiative gefordert, also rein vom Technischen her*“ [INT 3/6/2,17-19]
- ◆19 „*Ja, die Anweisungen waren auf jeden Fall verständlich und auch so richtig Punkt für Punkt genau angegeben, wobei [...] da braucht man nicht mehr viel mitdenken, man braucht das nur mehr Punkt für Punkt zusammenmischen und dann schauen, was herauskommt. [...] Und wenn ein paar Informationen weniger sind, muss ma selber auch noch nachdenken.*“ - [INT 4/8/3,28-35]

„Und wie hättest du es lieber?“

- ◆20 „*Ja, eben so, dass man ein bisschen noch nachdenken muss und so, wie in Chemie-Plus werden jetzt immer weniger Informationen geliefert. Irgend a Beispiel, da wird nur mehr: die Anfangsstoffe sind ... und was am Schluss herauskommen soll, wie das passiert oder wie, was, wann, das muss man dann selber herausfinden. Das ist irgendwie interessanter. [...] Dadurch beschäftigt man sich länger mit dem Thema.*“ [INT 4/8/3,37-43]

„Was könnte man bei den Anleitungen verbessern?“

- ◆21 „*Das kommt auf's Experiment an, eben wieviel Information man braucht, die muss dort sein.*“ [INT 4/8/6,48-49]
- ◆22 „*Er hat das aus irgendeiner Arbeitsmappe herauskopiert, weil er sich ganz einfach nicht soviel Arbeit machen hat wollen oder was weiß ich und er weiß eh, dass das nicht so gut ist...*“ [INT 4/8/7,9-11]
- ◆23 „*Und da sag' ich wiederum, wenn's so ineffizient ist, dann soll man's gleich bleiben lassen oder Ersatz dann auch suchen, also bevor ich etwas mache, wo ich mich nachher noch viel weniger auskenne, mach ich's lieber gar nicht.*“ [INT 4/9/7,12-14]
- ◆24 „*Do wurde ganz einfach einmal eine Zitrone auf den Tisch gelegt, „so und jetzt bestimmt den Citronensäuregehalt“ [...] und man muss auch selber wieder von allem, was man irgendwann schon gelernt hat, wieder zusammensuchen, was man jetzt brauchen könnte, damit man den Gehalt bestimmen kann.*“ [INT 4/8/5,44-51]

### 4.3 Durchführung, Beobachtung

- ◆25 „Die Fragen - am Anfang tu ich mich immer schwer, überhaupt so „wie verändert sich zum Beispiel der Inhalt der Reagenzgläser“, da waas ma oft net, welche Veränderungen entscheidend sind und welche man eher vernachlässigen kann.“ [INT 3/7/1,21-24]
- ◆26 „Nachdem daunn der Professor des weiter erklärt, was für Veränderungen dann eben bedeutend sind, dann is eigentlich wieder olles kloa“ [INT 3/7/1,27-28]
- ◆27 „wenn man die Beobachtung einmal stehen hat, kommt man vielleicht wieder so bissl weiter.“ [INT 3/7/10,45-46]
- ◆28 „Es ist leichter, wenn man schon vorher etwas hat, dann weiß man, worauf man sich konzentrieren muss [...] aber es ist dann irgendwie zu spät, wenn man [...] am Ende [...] überhaupt nicht das gesehen hat während des Experiments, was [...] verlangt war. Und das ist dann ein Vorteil, wenn man schon vorher weiß, worauf man sich überhaupt konzentrieren muss.“ [INT 2/3/6,33-38]
- ◆29 „Aber, ob dann der Sinn des Experimentes erfüllt werden soll, ist natürlich dann auch wieder eine Frage. [...] Und wenn dann die Punkte genau angegeben wären [worauf man achten soll, d. Verf.], dann wär' eben der Sinn, den er dahinter sieht, nicht mehr gegeben.“ [INT 3/5/1,32-36]
- ◆30 „... wobei man vorsichtig sein muss, wenn man sagt „Verständnis“, da es ja eben auch durch Experimente zu Missverständnissen kommen kann“ [INT 4/9/2,13-14]

### 4.4 Auswertung

- ◆31 „Auf alle Fälle schwieriger als das Experimentieren selbst, also die Verhältnisse erkennen und darlegen eben.“ [INT 1/1/7,27-28]

#### 4.4.1 Aufgaben bzw. Hinweise zur Auswertung des Experiments

- ◆32 „Ja, ich finde bei den Experimenten generell kommt's darauf an, dass das, was man in der Theorie gemacht hat, eben auch praktisch versteht, nur find' ich, dass das nicht immer so rüberkommt, wie es rüberkommen sollte, das heißt, dass die Fragebögen zu den Experimenten nicht ausreichend genug ausformuliert sind ...“ [INT 4/9/1,11-14] [Mit „Fragebögen“ sind die Fragen zur Auswertung gemeint, d. Verf.]
- ◆33 „... man hat auch sofort erkennen können, was geschehen muss, alleine von der Fragestellung war schon die Antwort auf die vorhergehende Frage sozusagen klar“ [INT 4/9,46-48]
- ◆34 „Na es ist auch schwierig, find' ich, das in der Fragestellung also nicht schon zu verraten, die Ergebnisse. [...] Vielleicht könnte man das auf mehrere Zetteln und - so also zum Beispiel könnt' man da ja schon sehen anhand der letzten Fragen, was dann eigentlich beim Ersten rauskommt“ [INT 3/6/1,44-49]

Welcher Teil (oder welche Teile) der Aufgabenstellung war(en) für dich am schwierigsten? Warum?<sup>12</sup>

- ◆35 „Trennung von Wesentlichem und Unwesentlichem“ [FB26/4b]
- ◆36 „die Stoffe, die reagieren od. unwichtig sind, finden“ [FB11/4a]
- ◆37 „Anfang finden, wenn ich den Einstieg weiß, geht's dahin, aber Praxis und Theorie in Einklang zu bringen, geht schwer, weil man nicht weiß, welche Stoffe wirklich für die Reaktion ausschlaggebend sind“ [FB24/4a]
- ◆38 „Finden der Halbreaktionen (Redoxpaare, weil nicht ganz klar war, welche Substanzen reagieren bzw. wichtig sind u. welche nicht)“ [FB8/4a]
- ◆39 „das Finden der Redoxpaare, weil für mich nicht immer klar war, was zusammengehört“ [FB2/4a]
- ◆40 „die Redoxpaare herausfinden (wenn es um Elektronenkonfiguration geht)“ [FB23/4a]
- ◆41 „Redoxgleichung, konnte Red. mittel nicht finden“ [FB4/4a]
- ◆42 „Oxidationsmittel, Reduktionsmittel zu finden“ [FB19/4a]
- ◆43 „Aufstellen der Reaktionsgleichung“ [9 x genannt: 6a, 7a, 12a, 13a, 15a, 21a, 26a, 27a, 28b]
- ◆44 „alle relevanten Fakten aus Text miteinzubeziehen und letztendlich eine richtige Reaktionsgleichung aufzustellen“ [FB1/4a]

---

<sup>12</sup> Frage Nr. 4 des Fragebogens

Hattest du während des Arbeitens in der Gruppe ein Aha-Erlebnis? Wenn ja, was war es?<sup>13</sup>

- ◆45 „es ging darum, ob  $H_2O_2$  Ox- oder Red-Mittel ist, mit dem Hinweis, dass  $H_2$  seine OZ nicht verändert, hab ich dann verstanden, dass es RedMittel ist, weil sich OZ von  $O_2$  ändert“ [FB24/13]
- ◆46 „Ja, das Schlechte an diesen Zetteln, die er gemeint hat, waren zum Beispiel solche Lückentexte. [...] Da war die Experimentbeschreibung und als Auswertung war ein Lückentext: Wenn man das dazugibt, wird die Flüssigkeit - Strich. Da muss man eben ‚rot‘ einsetzen.“ [INT 4/8/6/22, 42-45]
- ◆47 „...da sind mir, so wie heute zum Beispiel, das Experiment viel lieber, wo man also ein Frage/ Antwort-System anstatt nur Lückentext einsetzen. Die ham sich nicht sehr - bewährt. [INT 3/6/4,36-40]
- ◆48 „Das wird dann mehr zu einer Deutschübung.“ [INT 3/6/5,3]
- ◆49 „Ja. Zu einer Einsetzübung als - richtig zu denken.“ [INT 3/5/5,4]
- ◆50 „Na man setzt sich auch weniger damit auseinander, wahrscheinlich.“ [INT 3/6/5,11]
- ◆51 „Dann ist auch das Verhältnis ein ganz anderes, von der Zeit her. [...] Da nimmt das eigentliche Experiment [...] einen viel größeren Teil vom Gesamtexperiment ein.“ [INT 3/7/5,13-16]
- ◆52 „Man verfällt auch schneller ins Raten dabei.“ [INT 3/5/5,41]

#### 4.4.2 Spontane Hilfestellung durch den Lehrer

- ◆53 „Das war sehr hilfreich, vor allem wenn die Gruppe nicht weiterkommt, dass der Professor durchgeht und weiterhilft und also bei diesen Experimenten war die Nachbesprechung auch wichtig.“ [INT 3/7/9,37-39]
- ◆54 „G'rade beim Professor Kern ist es am häufigsten, glaube ich, dass er uns da wirklich nachdenken lässt, und das mag ich am meisten.“ [INT 2/4/10,12-14]

#### 4.5 Nachbesprechung

- ◆55 „Alle Fragen muss ma klären ...“ [INT 3/7/3,23]
- ◆56 „...und bei der anschließenden Besprechung sind alle Fragen geklärt worden und so reicht das, find' ich, solange der Schüler dann keine Fragen mehr hat“ [INT 4/8/4,52-5,2]
- ◆57 „... aber wir haben ja nicht gewusst, warum. Und dann nach dem Gespräch wurde es das erstmal klar.“ [INT 2/3/3,52]

Findest du die Nachbesprechung der Gruppenarbeit mit der ganzen Klasse wichtig? - „Ja“ (0,98)<sup>14</sup> - Warum?<sup>15</sup>

- ◆58 „Um die Denkweise der anderen kennen und verstehen zu lernen. Um zu sehen, was man besser machen hätte können.“ [FB 10/14]
- ◆59 „weil, wenn noch etwas unklar ist, jeder Fragen stellen kann und jeder sieht, was für Fehler er gemacht hat“ [FB 2/14]
- ◆60 „Damit die Ergebnisse verglichen und eventuelle Missverständnisse beseitigt werden können“ [FB 9/14]
- ◆61 „Weil man die Fehler sieht und erklärt bekommt, was man falsch gemacht hat.“ [FB 13/14]
- ◆62 „Um alle Fehler richtigzustellen u. herauszufinden, warum man diese Fehler gemacht hat“ [FB 21/14]
- ◆63 „Um Fehler auszubessern, geschicktere und schnellere Wege zur Problemlösung zu finden und komplizierte Dinge einfach zu erklären“ [FB 14/14]
- ◆64 „Man kann erkennen, [...] wie man am besten anfangen kann.“ [FB 23/14b]
- ◆65 „weil man dabei auf manche Dinge draufkommt, die vorher unklar waren - Aha-Erlebnis, dadurch habe ich mich erst durchgeblickt“ [FB 17/14]

<sup>13</sup> Frage Nr. 13 des Fragebogens

<sup>14</sup> Zur Interpretation dieser Zahl siehe Anhang 3

<sup>15</sup> Frage Nr. 14 des Fragebogens

## 5. Erster Entwurf für (m)einen Leitfaden zur Planung verstehensfördernder Schülerexperimente

Dieser „Leitfaden“ ist ein sehr persönlicher. Er hat sich aus meiner Experimentierpraxis und der meiner Schüler heraus ergeben. Als Standardmuster eines Experiments kann folgendes gelten: Durchführung der praktischen Übung nach Arbeitsanleitung, anschließend Auswertung. Die Auswertung kann ein Festhalten der Beobachtungen und Ergebnisse sein, Beantworten von Fragen, die das Experiment mit der Theorie in Zusammenhang setzen, Fragen nach Vermutungen über die Ursachen für Ereignisse, die während des Experiments stattgefunden haben, eine Reaktionsgleichung, usw. Für andere Formen von Schülerübungen<sup>16</sup> kann dieser „Leitfaden“ daher nur bedingt hilfreich oder einfach unbrauchbar sein. Dazu kommt noch, dass ich für den Entwurf lediglich die Schüleraussagen verwendete und andere Aspekte, deren Berücksichtigung beim Erstellen von Schülerexperimenten vorteilhaft wäre, völlig außer Acht ließ. Der Leser möge mir diese Mängel nachsehen und die Lücken mit eigenen Erfahrungen auffüllen.

Ich glaube, dass die Lektüre meines „Leitfadens“ durchaus eine Hilfe beim Erstellen eigener verständnisfördernder Schülerexperimente sein kann. Auf viele dieser Ideen bin ich durch die Äußerungen meiner Schüler gekommen. Die Fragen in den folgenden Abschnitten (5.1 und 5.2) scheinen mir daher bei der Planung hilfreich zu sein.

Verwendete Symbolik:

- ? Fragen, die ich mir als Lehrer bei der Planung des Experiments stellen sollte
- ! Wichtiger Hinweis
- ☺ Vorschlag, der ein angesprochenes Problem verhindern oder mildern soll, Abhilfe

### 5.1 Voraussetzungen

Das Schülerexperiment muss in das Gesamtkonzept des Unterrichts eingebettet sein. Theoretisches Wissen (♦1,♦2) und praktische Fertigkeiten (♦4,♦5) der Schüler wollen ebenso berücksichtigt werden wie etwa die Furcht vor Verletzungen (♦6-♦12). Demzufolge sind die Arbeitsanleitungen der jeweiligen Klasse in ihrer aktuellen Unterrichtssituation anzupassen (♦18-♦21). Das Übernehmen fertiger Arbeitsblätter wird von Schülern meist als wenig sinnvoll erachtet (♦22,♦23).

---

<sup>16</sup> Siehe dazu die Strukturen experimentellen Unterrichts in [SCHMIDKUNZ], S. 51

### 5.1.1 Theoretisches Vorwissen

- ? Welches Wissen braucht der Schüler?
- ? Ist es vorhanden,
- ? soll es durch das Experiment erworben werden, oder
- ? muss es bei der Auswertung angegeben werden?

Eine besondere Schwierigkeit wurde von Schülern darin gesehen, dass nicht alle den gleichen Kenntnisstand haben (Chemie-Olympiade, Wahlpflichtfach, „Normalschüler“) (♦3). Das Problem lässt sich aber durch geeignete Gruppeneinteilung entschärfen (♦16).

### 5.1.2 Handling von Geräten und Chemikalien

- ? Welche Fertigkeiten braucht der Schüler?
- ? Sind die benötigten Fertigkeiten vorhanden?  
(Wenn nein,)
- ? können sie im Verlauf dieses Experiments erworben werden
- ? oder wird die Arbeit dadurch zu komplex?

! Auf keinen Fall sollte man die Furcht vor Verletzungen und Unfällen unterschätzen. Sie wurde sowohl in den Interviews (♦6) als auch in den Fragebögen angesprochen. In 28 Fragebögen wurde auf die Frage von Nachteilen von Schülerexperimenten 18 Mal Gefahren genannt, am häufigsten „Verletzungsgefahr“ (♦7-♦12 stellen eine repräsentative Auswahl dar).

Gegen diese Ängste bietet sich die Aufklärung über Gefahrenpotentiale und Sicherheitsvorkehrungen an. Ebenso müssen die Schüler über die Handhabung der Geräte, Eigenschaften der verwendeten Stoffe und über Maßnahmen im Unglücksfall Bescheid wissen. Üblicherweise werden die Schüler ohnehin informiert, aber es scheint, dass nur die Erfahrung, dass „eh nichts passiert“ auf lange Sicht die Angst mindert.

### 5.1.3 Organisatorische Voraussetzungen

- ? Ist es unter den gegebenen Umständen sinnvoll, alle benötigten Geräte und Chemikalien für die einzelnen Arbeitsgruppen zusammenzustellen oder
- ? sollen/können die Schüler sich das Material selbst aus der Sammlung heraussuchen? (♦13)
- ? Wie treffe ich eine zweckmäßige Gruppeneinteilung? (♦14-♦16)
- ? Zeitplanung? Genügend Zeit für die Auswertung und Nachbesprechung einplanen!!! (♦17)

## 5.2 Arbeitsanleitungen

Meine Anweisungen wurden manchmal als zu detailliert empfunden. Im praktischen Arbeiten erfahrenere Schüler brauchen nicht soviel Anleitung wie Anfänger. Allzu detaillierte Angaben nehmen dem Schüler die Möglichkeit, das bereits Gelernte wieder gebrauchen zu müssen. (♦24)

Interessant scheint mir die Tatsache, dass sich die Aussagen von Olympiade- und WaPfl-Erfahrenen (♦19) mit denen von „Normalschülern“ (♦18) in diesem Punkt decken.

In dieselbe Kerbe schlägt Muckenfuß<sup>17</sup>, wenn er Arbeitsvorschriften kritisiert, die selbstverständliche Vorgänge umständlich beschreiben und so den Schüler unmündig halten.

- ? Welche Arbeitsschritte können als bekannt vorausgesetzt werden?
- ? An welche müssen die Schüler wieder erinnert werden?
- ? Wie?
- ? Was muss in der Beschreibung vorkommen?

## 5.3 Durchführung, Beobachtung

Beobachten und Auswerten stellen offenbar hohe Anforderungen an die Lernenden (♦25). Hier sind die größten Erfolge vermutlich dadurch zu erzielen, dass die Schüler durch entsprechende Anleitung erstens „richtig“ beobachten lernen und zweitens mit Hilfe geeigneter Fragen durch das Netz des (hoffentlich) vorhandenen Wissens gelotst werden.

Einerseits wüssten Schüler gern, worauf sie achten sollen, was wesentlich ist (♦28). Andererseits soll aber auch nicht allzuviel verraten werden (♦29). Ein Ausweg aus diesem Dilemma könnte folgende Vorgangsweise sein:

- ☺ Vor den ersten Experimenten bespricht man gemeinsam mit den Schülern Standardphänomene. Was könnte denn alles zu beobachten sein? Es könnte eine Gasentwicklung eintreten, eine Farbänderung; ein Niederschlag könnte sich bilden oder eine trübe Flüssigkeit klar werden. Das Reagenzglas könnte sich erwärmen oder abkühlen, usw. Diese Standardliste kann bei Bedarf erweitert und bei jedem nachfolgenden ähnlich gearteten Experiment herangezogen werden.
- ☺ Die Schüler sollen alles aufschreiben und erst später die Beobachtungen auswählen, die für die Fragestellung bedeutsam sind (♦27).
- ☺ Die Richtigkeit und Vollständigkeit der Beobachtungen sollte durch den Lehrer bestätigt werden (♦26, ♦30). Mit falschen Daten wird jedes Weiterarbeiten sinnlos.

---

<sup>17</sup> [MUCKENFUSS], S. 7

## 5.4 Auswertung

Die Auswertung der Experimente stellt den anspruchsvollsten Teil der Arbeit dar - darin waren sich praktisch alle Schüler einig (♦<sub>31</sub>, ♦<sub>35</sub>-♦<sub>44</sub>).

### 5.4.1 Aufgaben bzw. Hinweise zur Auswertung des Experiments

Dasselbe Dilemma, das bereits bei der Beobachtung aufgetreten ist, zeigt sich auch hier: Einerseits sollen die Hinweise und Fragen den Schüler leiten (♦<sub>32</sub>), andererseits aber nicht allzuviel verraten (♦<sub>33</sub>, ♦<sub>34</sub>).

Ich fragte mich, ob es nicht möglich wäre, allgemeine Problemlösestrategien zu entwickeln, ähnlich denen, die Georg Polya für das Lösen mathematischer Probleme angegeben hat<sup>18</sup>. Einige Ideen dazu kamen mir bei näherer Betrachtung der Aussagen (♦<sub>35</sub>-♦<sub>44</sub>):

Folgende oder ähnliche Fragen könnten den Schülern hilfreich sein:

- ☺ Welche Angaben und Beobachtungen sind für die Fragestellung(en) bedeutsam? Was ist nur technisches Detail? Welche Angaben könnte man weglassen? Was ist, wenn man einen der Reaktionspartner durch einen anderen Stoff ersetzt?
- ☺ Was habe ich vor der Reaktion alles im Topf? (Das muss in der Angabe stehen bzw. aus der Reaktion mit dem Lösungsmittel hervorgehen.) Wie liegen die Ausgangsstoffe vor: fest, flüssig, gasförmig, gelöst, dissoziiert? Welche Arten von Verbindungen liegen vor (ionische, kovalente, polare, unpolare, metallische)? Reagieren sie mit dem Lösungsmittel? Wenn ja, wie? Wie lauten die Formeln für diese Stoffe? Welche Rolle könnten diese Stoffe spielen (Lösungsmittel, Säure, Base, Oxidationsmittel, Reduktionsmittel, Komplexbildner, Fällungsmittel, ...)? Was habe ich nach der Reaktion? Formeln dieser Stoffe? Was habe ich nachher, das ich vorher nicht hatte? Was ist vorher und nachher in gleicher Weise vorhanden?
- ☺ Was ist gefragt, was ist gegeben, was fehlt mir noch? Woher könnte ich diese Information bekommen. Habe ich alle Möglichkeiten ausgeschöpft? (Angabe, Beobachtungen, Hinweise, Theorie-Unterricht, Gruppenpartner)

Neben Schwierigkeiten mit der Verschränkung von Theorie und Praxis wurde auch angegeben, dass die Theorie nicht ausreichend verstanden wurde (♦<sub>39</sub>, ♦<sub>41</sub>-♦<sub>43</sub>). Weiter zurückliegende Unterrichtsinhalte scheinen nicht mehr verfügbar zu sein (♦<sub>40</sub>)! Siehe auch Hypothese 4 (Anhang 1)!

Mögliche Abhilfe:

- ☺ Wiederholung der Theorie vor dem Experiment, ev. mit Fragen, die als HÜ ausgearbeitet werden sollen
  - ☺ Gezielte Hinweise für die Auswertung (eine Art „Gedankenführung“) scheinen die Lösung der Aufgaben zu erleichtern (♦<sub>45</sub>).
- ! **Aber Vorsicht:** Allzuviel Führung würde bewirken, dass „*man selber nicht mehr soviel nachdenken muss*“ [zitiert nach INT 4/8/3,28-41]

---

<sup>18</sup> siehe [WINTER], S. 178ff.

! Eine klare Absage wurde der Verwendung von Lückentexten erteilt (♦<sub>46-52</sub>).

### 5.4.2 Spontane Hilfestellung durch den Lehrer

☺ Es scheint die „Methode Sokrates“ am ehesten angebracht zu sein, die Schüler nämlich daran zu erinnern, dass sie ja schon dieses oder jenes gelernt haben. Sie wissen es ja in den meisten Fällen, aber sie können es nicht hervorholen. „Ruf dir die Definition in Erinnerung!“ „Welcher Stoffklasse gehört diese Substanz an? Was müsste sie daher für Eigenschaften haben?“ „Gibt es Widersprüche?“ „Was fehlt?“ oder Ähnliches scheint mir hilfreich zu sein (♦<sub>53</sub>). Die Schwierigkeit besteht immer darin, nicht allzuviel zu verraten und trotzdem beim Hervorkramen und Verknüpfen des Gelernten zu helfen, möglichst so, dass es bei einem ähnlich gelagerten Problem das nächste Mal von selber geht (♦<sub>54</sub>).

### 5.5 Nachbesprechung

Eines der wichtigsten Elemente ist für Schüler die Nachbesprechung (siehe Abschnitt 4.5). Das wurde auch in anderem Zusammenhang deutlich bestätigt.<sup>19</sup> Für die Nachbesprechung ist daher unbedingt ausreichend Zeit zur Verfügung zu stellen. Findet sie erst in der darauffolgenden Stunde statt, ist das erfahrungsgemäß (zumindest in der Oberstufe) immer noch besser als wenn sie schnell und oberflächlich abgehandelt wird.

## 6. Rückblick und Ausblick

### 6.1 Zusammenfassung

Die Reflexion meiner Unterrichtspraxis und das Einbeziehen von Schülersichtweisen hat mir tiefe Einblicke in die Komplexität des Verstehens gewährt. Erstaunlich ist für mich, dass der Großteil der Schüler wirklich um Verständnis ringt, und dass viele auch in der Lage sind, ihre Probleme zur Sprache zu bringen. Sie wollen gefordert sein und ihr Können unter Beweis stellen. Die hohe Meinung, die ich seit jeher von Schülern hatte, hat sich durch diese Erfahrung noch gesteigert. Zusammenfassend lässt sich auf Grund meiner Untersuchungen eine Antwort auf meine Forschungsfrage folgendermaßen geben:

- Das Schülerexperiment muss in das Gesamtkonzept des Unterrichts eingebettet sein. Das heißt, dass Kenntnisse und Fertigkeiten der Schüler berücksichtigt werden müssen (♦<sub>2</sub>, ♦<sub>5</sub>).
- Die Komplexität der Aufgabenstellung darf die Schüler weder unter-, noch überfordern (♦<sub>18</sub>, ♦<sub>32</sub>). Das Experiment muss so angelegt sein, dass der Rückgriff auf bereits vorhandenes Wissen nicht nur möglich (♦<sub>1</sub>), sondern auch notwendig ist (♦<sub>24</sub>).
- Für die Auswertung des Experiments in der Gruppe und die Diskussion der Ergebnisse im Plenum muss ausreichend Zeit zur Verfügung stehen (♦<sub>17</sub>, ♦<sub>55</sub>). Der hohe Zeitbedarf, den Schüler dafür anmelden, lässt auf ein Bedürfnis nach Verstehen schließen und ist unbedingt zu erfüllen, wenn das Schülerexperiment Sinn haben und die Schüler in ihrem Bemühen ernstgenommen werden sollen.

---

<sup>19</sup> [SAUKEL 1], [SAUKEL 2] und [SCHÜLLER], S. 15

## 6.2 Kritik

Meine Arbeit deckt nur einen Bruchteil des Themas „Schülerexperiment und Verstehen“ ab.

Selbstverständlich ließe sich die Liste der Anforderungen an ein Schülerexperiment noch erweitern, etwa dahingehend, dass das Thema den Interessen der Schüler entsprechen muss oder realitätsbezogen sein soll, um die Motivation zu gewährleisten, usw.. Auf die Themenwahl einzugehen, hätte den Rahmen dieser Arbeit allerdings gesprengt, ebenso eine Berücksichtigung der emotionalen Komponente. In diesem Zusammenhang scheint mir eine Schüleraussage zu den Vorteilen des Selberexperimentierens bemerkens- und zitierenswert:

- ♦ „Man sieht, dass der Lehrer einem etwas zutraut“ [FB 18/2]

## 6.3 Offene Fragen

1) Wie kann ich Verständnis von Schülern überprüfen? Die Frage einer Kollegin aus meiner Regionalgruppe verursacht mir immer wieder Unbehagen. „**Bist du sicher, dass sie das wirklich verstanden haben?**“ Welche Aufgaben müssen die Schüler bewältigen können, wenn sie den Stoff verstanden haben? Auf der Suche nach Methoden, Verstehen zu messen, bin ich in der Literatur auf eine interessante neue Idee gestoßen: die „Portfolio-Methode“.<sup>20</sup> Allerdings gestattet sie eine Erfolgskontrolle nur über einen längeren Zeitraum, ihre Ergebnisse scheinen mir nicht gerade leicht zu bewerten zu sein. Mit folgenden Verfahren kann ich mich eher anfreunden:

- ☺ In den Fragen zur Auswertung möglichst alle Aspekte abdecken, die das Experiment hergibt. Nach möglichst vielen Unterrichtsinhalten fragen und Verknüpfungen zum Experiment herstellen.
- ☺ Einen „Lehrbuchtext“ selber erstellen lassen. Die Idee ist ja nicht gerade neu. Erinnert wurde ich daran durch die Studie einer Kollegin aus meiner Regionalgruppe. Die Frage „Woran habe ich gemerkt, dass ich die Eiweißbiosynthese verstanden/nicht verstanden habe?“ beantwortete ein(e) Schüler(in) so: „Ich wollte es meinem Sitznachbarn erklären, doch wusste ich ein paar Mal die Zusammenhänge nicht.“<sup>21</sup>

2) Vielleicht sind es gerade die Aufgaben, die Schüler (gerade noch) nicht lösen können, die das Verstehen am meisten fördern („*Und immer wieder muss ich feststellen: Ich kenn' die Theorie genau, die versteh' ich, aber trotzdem fehlt ma da was. Wieso komm' i jetzt net drauf?*“ [INT 2/4/7,24-27]) Ein winziges Steinchen, das im Mosaik fehlt, wird in der Nachbesprechung geliefert, und das Bild ist (vorläufig) komplett (♦65).

---

<sup>20</sup> [PERSPEKTIVEN], S. 86

<sup>21</sup> [RADITS], Kap. 4.2

## 6.4 Konsequenzen

- 1) Dass ich meinen „Leitfaden“ als Hilfe zur Planung weiterer Schülerexperimente heranziehen werde, versteht sich wohl von selbst.
- 2) Die Forderung nach viel Zeit für Gruppen- und Plenumsdiskussion bedeutet für mich nicht, weniger Schülerexperimente in den Unterricht zu integrieren, sondern eine gezieltere Auswahl zu treffen. Dazu scheinen mir folgende Überlegungen hilfreich:
  - Welche Experimente scheinen besonders ertragreich zu sein?
  - Welche experimentellen und theoretischen Voraussetzungen muss ich vorher schaffen? (Grundlegende Arbeitsvorgänge und Konzepte müssen verfügbar sein, um komplexere Aufgabenstellungen bewältigen zu können.)

## 8. Quellen

### 8.1 Eigene Daten

[INT]

Schülerinterviews, durchgeführt am 16. Januar 1998 mit neun Schülern einer 8. Klasse Realgymnasium mit ergänzendem Unterricht aus Biologie und Umweltkunde, Physik und Chemie (Es wurden die Interviews in vier Gruppen durchgeführt, auf Tonband mitgeschnitten und die Bänder transkribiert. Es gibt also vier Transkripte. Jeder Schüler erhielt willkürlich eine eindeutige Nummer zugeordnet, sodass seine Aussage jederzeit wiederauffindbar ist.

[INT 3/6/13,51-14,3] bedeutet: Transkript 3/Aussage des Schülers 6/Seite 13, Zeile 51 - Seite 14, Zeile 3)

[FB]

Fragebogen, Erhebung der Daten am 12. Mai 1999 mit 28 Schülern einer 7. Klasse Gymnasium (Die Fragebögen wurden nummeriert, um Aussagen ein und desselben Schülers gegebenenfalls als zusammenhängend erkennen zu können. Gab ein Schüler auf eine Frage mehrere Antworten, so wurden diese zusätzlich mit den Buchstaben a, b, c, ... bezeichnet.

[FB 17/10b] bedeutet: Fragebogen 17/zweite Antwort auf Frage 10)

### 8.2 Literatur

[KERN]

Kern, G.: Was bringt das Experiment für das Verständnis - Schülerexperimente im Chemieunterricht, PFL-Studie Nr. 33, Klagenfurt, 1998.

[KONKRETE FACHDIDAKTIK]

Konkrete Fachdidaktik Chemie, (Autorenteam, Federführung: Pfeifer, P., Häusler, K. und Lutz, B.), Oldenbourg Verlag, München, 1992.

[MUCKENFUSS]

Muckenfuß, H.: Physikunterricht und der Modus des Physiktreibens - Überlegungen zur unpädagogischen Dimension der Physik. Vortrag, gehalten im Rahmen der Veranstaltung „Förderung der Naturwissenschaften an Österreichs AHS“ vom BMUKA am 19./20. Okt. 1995 in St. Pölten.

[PERSPEKTIVEN]

Perspektiven für die Unterrichtspraxis, (Autorenteam: Häußler, P., Bündler, W., Duit, R., Gräber, W. und Mayer, J.), Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN), Kiel, 1998

[RADITS]

Radits, D.: Wie merken SchülerInnen, dass sie etwas verstanden haben? PFL-Studie Nr. 36, Klagenfurt, 1998

[SAUKEL 1]

Saukel, E.: Verbindung von inner-und außerschulischem Unterricht im Wahlpflichtfach Biologie.  
PFL-Studie Nr. 37, Klagenfurt, 1998

[SAUKEL 2]

Saukel, E.: Verhaltensforschung - ein Thema für Zwölfjährige? PFL-Studie Nr. 38, Klagenfurt, 1999

[SCHMIDKUNZ/LINDEMANN]

Schmidkunz, H., Lindemann, H.: Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren - Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht (4. unveränderte Neuauflage), Verlag Westarp Wissenschaften, Magdeburg, 1995

[SCHÜLLER]

Schüller, M.: Laß es mich selbst machen! Schülerversuche in Gruppenarbeit. PFL-Studie Nr. 1, Klagenfurt, 1996

## Anhang 1:

### Vergleich der Hypothesen mit den Fragebogen- ergebnissen

- **Hyp 1: Die Aufgabenstellung insgesamt war zu komplex:** Die Kombination von Hauptversuch und Nachweisreaktionen stellte eine Überforderung dar.

☉ *Abhilfe:* Nachweisreaktionen an passender Stelle im Unterricht schon vorher durchführen lassen! Allgemein: Überlegen, welche Fähigkeiten, Fertigkeiten, Kenntnisse die Schüler bereits haben sollten! (Vergleiche dazu auch Hypothese 4)

ad 1) Diese Hypothese konnte weder bestätigt, noch widerlegt werden, da die Schüler den Hauptversuch ja nicht selber durchführten.

- **Hyp 2: Die erforderlichen Denkschritte waren zu groß:** Aus den Beobachtungen des Vorgangs selber und den Nachweisreaktionen sollten zunächst die Reaktionsprodukte herausgefunden werden, dann die Redox-Paare und schließlich die Reaktionsgleichung. Dieses Gerüst hatte ich aber nicht vorgegeben. Als Arbeitsanleitung zur Auswertung des Experiments gab es lediglich „Beobachte“ und „Stelle die Reaktionsgleichung auf!“ Den Hinweis auf die Oxidationszahl des Eisenions nach der Reaktion hielt ich für ausreichend, was sich als Irrtum herausstellte.

☉ *Abhilfe:* Mehrere Fragen stellen, die die Aufgabe in kleinere Schritte zerlegen und gleichzeitig den Lösungsweg vorstrukturieren! Auf Reihenfolge und Formulierung achten! Fragen so stellen, dass sie von niedriger Ebene (Beobachtung) zu immer höheren (abstrakteren) führen (Ausgangsstoffe/-Reaktionsprodukte → Redox-Paare → Reaktionsgleichung)!

ad 2) Für die Wirksamkeit des Zerlegens der Aufgabe in mehrere kleinere Schritte gibt es keine endgültige Bestätigung. Einige der Hinweise scheinen zumindest für manche Schüler hilfreich gewesen zu sein. Auf die Frage „Hattest du während des Arbeitens in der Gruppe ein Aha-Erlebnis? Wenn ja, was war es?“ erhielt ich folgende Antwort:

- ◆ „es ging darum, ob  $H_2O_2$  Ox- oder Red-Mittel ist, mit dem Hinweis, dass  $H_2$  seine OZ nicht verändert, hab ich dann verstanden, dass es RedMittel ist, weil sich OZ von  $O_2$  ändert“ [FB24/13] (Die Antwort stammt allerdings von einem „Sehr gut“-Schüler.)

Immerhin hat die Zerlegung in kleinere Schritte geholfen, die Schwierigkeiten der Schüler differenzierter zu erfassen (siehe ad 4).

- **Hyp 3: Die Einheit Theorie/Praxis existiert für die Schüler nicht,** Theorie und Praxis werden als zwei getrennte Welten angesehen. (Es scheint sogar, dass „gewöhnliche Chemie“ und „Olympiade-Chemie“ als nicht zusammenhängend erlebt werden.) Allerdings kann das auch daran liegen, dass ich in den Hinweisen und Frage zur Auswertung zu wenig Bezug auf den Theorie-Unterricht genommen habe.

☉ *Abhilfe:* In den Hinweisen und Fragen explizit an Konzepte, die im Unterricht bereits vorgekommen sind, erinnern! So wäre möglicherweise etwa die Anweisung, Welche Stoffe bilden zusammen ein Redox-Paar? hilfreich gewesen, allein durch die Tatsache, dass darin ein Begriff aus dem Unterricht erwähnt wird.

ad 3) Diese Annahme scheint zuzutreffen. „Welcher Teil (oder welche Teile) der Aufgabenstellung war(en) für dich am schwierigsten? Warum?“ wurde unter anderem so beantwortet:

- ◆ „Theoretisches und Praktisches zu kombinieren“ [FB10/4a]
- ◆ „Die Ausarbeitung des Experiments danach, weil ich die Praxis nicht immer auf die Theorie beziehen konnte und umgekehrt.“ [FB14/4a]

Ob die vorgeschlagenen und auch eingesetzten Abhilfen wirksam waren, lässt sich schwer sagen. Fragt man einzelne Schüler, so sind die Antworten nicht gerade ermutigend:

„Warst du persönlich in der Lage, das bereits Gelernte, die Beobachtungen und die Hinweise geschickt zu kombinieren, um die geforderten Reaktionsgleichungen zu finden?“ „Eher nein“ (0,49), für die Gruppe hingegen scheinen die Anweisungen sehr wohl hilfreich gewesen zu sein.

„Ist es (in deiner Arbeitsgruppe) weitgehend gelungen, Antworten auf die gestellten Fragen zu geben und die Reaktionsgleichungen zu finden?“ „Eher ja“ (0,70).

Die Vermutung eines Schülers möchte ich an dieser Stelle nicht unterschlagen:

„Ich find' eigentlich, dass - in diesem Fall war auch das Problem, dass wir in der Theorie zu wenig sattelfest waren und dass dann, wenn man in der Theorie nicht sehr standfest ist, dann kann man logischerweise keine gute Verbindung aufbauen zur Praxis. [...] Man müsste sich auf jeden Fall sehr lange Zeit nehmen, um die logischen Schlüsse - ahm - herauszufinden.“ [INT 1/2/6,21-29]

Daraus lassen sich zwei weitere Hypothesen ableiten:

#### ● **Hyp 4: Die gelernte Theorie war nicht in ausreichendem Maß verfügbar.**

- ☉ **Abhilfe:** Wiederholung des relevanten Lehrstoffs vor dem Experiment, eventuell als Hausübung anhand von Fragen, Rechenaufgaben etc.

ad 4) Eine Reihe von Fragebögen sprechen für die Richtigkeit der Hypothese. Aufschlussreich waren vor allem die Antworten auf die Frage „Welcher Teil (oder welche Teile) der Aufgabenstellung war(en) für dich am schwierigsten? Warum?“

- ◆ „das Finden der Redoxpaare, weil für mich nicht immer klar war, was zusammengehört“ [FB2/4a]
- ◆ „die Redoxpaare herausfinden (wenn es um Elektronenkonfiguration geht)“ [FB23/4a]
- ◆ „Die Redoxreaktionen aufstellen (Halbreaktionen finden)“ [FB5/4a]
- ◆ „Redoxgleichung, konnte Red. mittel nicht finden“ [FB4/4a]
- ◆ „Oxidationsmittel, Reduktionsmittel zu finden“ [FB19/4a]
- ◆ „Aufstellen der Reaktionsgleichung“ (9x genannt<sup>22</sup>, d. Verf.)
- ◆ Mögliche Ursache: „vielleicht habe ich mich mit der Materie zu wenig befasst“ [FB15/4a]

Der als vorletzter genannte Punkt scheint mir insofern interessant, als dass das Aufstellen der Reaktionsgleichung ja die ganze Aufgabe war. Ich werte die Häufigkeit, mit der diese Antwort kam als ein Indiz dafür, dass die Aufgabe für manche Schüler zu komplex gewesen ist, und dass diese nicht in der Lage waren, sie in kleinere, leichtere Aufgaben zu zerlegen. Wären sie dazu in der Lage gewesen, dann hätten sie detaillierter Auskunft geben können, was *genau* ihnen Schwierigkeiten bereitet hat.

---

<sup>22</sup> Fragebögen 6, 7, 12, 13, 15, 21, 26, 27, 28

● **Hyp 5: Die Zeit (für die Auswertung) war zu kurz.**

☉ *Abhilfe:* Ausgewogeneres Verhältnis zwischen Zeit zum Experimentieren und Zeit zum Auswerten.

ad 5) Die Zeit für die Auswertung scheint ausreichend gewesen zu sein.

(„War die Zeit für das Bearbeiten der Fragen nach dem Experiment ausreichend?“ „Eher ja“ (0,79))

## Anhang 2:

### 3 Versuche zu Redoxreaktionen:<sup>23</sup>

#### Material pro Gruppe

(à 3 Schüler):

- 1 Porzellanschale
- 8 Reagenzgläser (12x75)
- RG-Gestell einreihig
- 1 Tropfpipette
- etwas Stahlwolle
- Schwefelsäure H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10%)
- Wasserstoffperoxid (3%)

#### Nachweisreagenzien:

- Ammoniumthiocyanat, (NH<sub>4</sub>SCN), (c=2 mol/L)
- Kaliumhexacyanoferrat(II), (K<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]), (5%)
- Kaliumhexacyanoferrat (III), (K<sub>3</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]), (1%)

#### **1. Versuch (Auflösen von Eisen in verdünnter Schwefelsäure):**

Durchführung: Ein Reagenzglas wird randvoll mit verdünnter warmer Schwefelsäure gefüllt und die Flüssigkeit in eine Porzellanschale gegossen. Das RG wird noch einmal gefüllt und in die Öffnung ein kleiner fester Stahlwollepropf gesteckt. Nun dreht man das RG um und stellt es rasch mit der Öffnung nach unten in die Porzellanschale.

Beobachtung: \_\_\_\_\_

Nach beendeter Reaktion zieht man die Stahlwolle nach unten heraus und verschließt sofort die Öffnung mit dem Daumen (Schutzhandschuh, Schwefelsäure!). Man führe mit dem Gas die Knallgasprobe durch!

Ergebnis: \_\_\_\_\_

Zur Untersuchung der Flüssigkeit in der Porzellanschale wird jeweils eine kleine Menge davon (Probe) mit der Tropfpipette in ein sauberes RG übergeführt und mit den Nachweisreagenzien (wenige Tropfen genügen!) gemäß folgender Tabelle versetzt:

Probe + NH <sub>4</sub> SCN	Probe + K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	Probe + K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]

Die Beobachtungen sind einzutragen!

Was waren die Ausgangsstoffe?

Welche Reaktionsprodukte wurden nachgewiesen?

Finde die beiden Redoxpaare!

<sup>23</sup> Verbesserte Version, fußend auf den Überlegungen in [KERN], S 13. Der dritte Versuch der Serie wurde nicht verändert. Zu finden in [KERN], S 12.

Stelle die Reaktionsgleichung für das Auflösen von Eisen in Schwefelsäure auf! Welche Oxidationszahl hat das Eisen in der entstehenden Verbindung?

## 2. Versuch: Reaktion von Eisen(II)-Verbindungen mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:

Ein Teil der Flüssigkeit aus der Porzellanschale vom vorigen Versuch wird mit einigen Tropfen Wasserstoffperoxid versetzt und diese neue Probe mit den Reagenzien des ersten Versuchs untersucht.

Probe + NH <sub>4</sub> SCN	Probe + K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	Probe + K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]

Formuliere mit Hilfe der Methode der Halbreaktionen die Reaktionsgleichung!

(Zur Erinnerung: 1) Ausgangsstoffe/Reaktionsprodukte  
2) Redoxpaare  
3) Halbreaktionen  
4) Reaktionsgleichung)

(Hinweis: Vielleicht ist die Antwort auf die Frage, ob H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Oxidationsmittel oder Reduktionsmittel ist, hilfreich)

---

### **Redox-Serie neu**

Neben der Trennung von Hauptversuch und Nachweisreaktionen lagen die wesentlichen Veränderungen in den Hinweisen und Fragen zur Auswertung. Beim ersten Experiment wurde der Text

„Stelle die Reaktionsgleichung für das Auflösen von Eisen in Schwefelsäure auf!

Welche Oxidationszahl hat das Eisen in der entstehenden Verbindung?“

ersetzt durch:

„Was waren die Ausgangsstoffe?

Welche Reaktionsprodukte wurden nachgewiesen?

Finde die beiden Redoxpaare!

Stelle die Reaktionsgleichung für das Auflösen von Eisen in Schwefelsäure auf!

Welche Oxidationszahl hat das Eisen in der entstehenden Verbindung?“

Die Anweisungen zum zweiten Experiment

„Formuliere mit Hilfe der Methode der Halbreaktionen die Reaktionsgleichung

$\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \dots\dots\dots$

(Hinweis: Der Wasserstoff des H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ändert seine Oxidationszahl während der Reaktion nicht.)“

mussten folgender Fassung weichen:

„Formuliere mit Hilfe der Methode der Halbreaktionen die Reaktionsgleichung!

(Zur Erinnerung: 1) Ausgangsstoffe/Reaktionsprodukte

2) Redoxpaare

3) Halbreaktionen

4) Reaktionsgleichung)

(Hinweis: Vielleicht ist die Antwort auf die Frage, ob H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Oxidationsmittel oder Reduktionsmittel ist, hilfreich)“

## Anhang 3:

### Fragebogen

Erinnere dich an die Versuchsserie „Redoxreaktionen“! Nimm dazu die Kopien und deine Aufzeichnungen zur Hand und lies sie noch einmal durch! Beantworte bitte folgende Fragen:

- 1) Hättest du die Experimente lieber selber gemacht anstatt sie vom Lehrer vorgeführt zu bekommen?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein
- 2) Welche Vorteile hat es deiner Meinung nach, wenn du als Schüler selber experimentierst?  
Versuche deine Antworten auch zu begründen!
- 3) Welche Nachteile haben Schülerexperimente deiner Meinung nach?  
Begründe wieder!
- 4) Welcher Teil (oder welche Teile) der Aufgabenstellung war(en) für dich am schwierigsten? Warum?
- 5) Haben dir persönlich die Experimente und die dazu gestellten Aufgaben das Verstehen von Redoxvorgängen erleichtert?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein
- 6) Ist es (in deiner Arbeitsgruppe) weitgehend gelungen, Antworten auf die gestellten Fragen zu geben und die Reaktionsgleichungen zu finden?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein
- 7) War dir auf Grund des Textes klar, was du tun solltest?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein
- 8) Hast du es interessant gefunden durch die Arbeit in der Gruppe Einblick in das Denken deiner Mitschüler zu bekommen?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein
- 9) Hast du durch die Überlegungen der anderen Anstöße zum Weiterdenken bekommen?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein
- 10) Gab es bei dir falsche Vorstellungen, die durch die Arbeit in der Gruppe richtiggestellt wurden?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein  
Wenn ja, welche?
- 11) Warst du persönlich in der Lage, das bereits Gelernte, die Beobachtungen und die Hinweise geschickt zu kombinieren, um die geforderten Reaktionsgleichungen zu finden?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein  
Wenn nein oder eher nein: Was waren deiner Meinung nach die Gründe dafür?
- 12) War die Zeit für das Bearbeiten der Fragen nach dem Experiment ausreichend?  
 ja                       eher ja                       eher nein                       nein

13) Hattest du während des Arbeitens in der Gruppe ein Aha-Erlebnis?  
 ja  nein  
 Wenn ja, was war es?

14) Findest du die Nachbesprechung der Gruppenarbeit mit der ganzen Klasse wichtig?  
 ja  eher ja  eher nein  nein  
 Warum?

15) Findest du diese Art Chemie zu lernen (Experiment plus Aufgaben dazu) schwieriger als rein theoretischen Unterricht?  
 ja  eher ja  eher nein  nein  
 Warum?

16) Findest du diese Art Chemie zu lernen (Experiment plus Aufgaben dazu) interessanter als rein theoretischen Unterricht?  
 ja  eher ja  eher nein  nein  
 Warum?

17) Was hast du getan, wenn du dich nicht auskanntest?

---

18) Findest du „Chemie“ als Unterrichtsgegenstand interessant?  
 ja  eher ja  eher nein  nein

19) Deine Chemie-Note im Semesterzeugnis?

20) Was ich Ihnen noch sagen wollte ...

Die Fragen des Fragebogens lassen sich in drei Gruppen einteilen, erstens Fragen, die sich rein numerisch auswerten lassen (Fragen 1, 5-9, 12, 18), zweitens offene Fragen (2-4, 17) und drittens Fragen, die sowohl einen numerisch auswertbaren Teil beinhalten als auch einen offenen (Fragen 10, 11, 13-16). Die meisten numerischen Fragen lassen die Antworten „ja“, „eher ja“, „eher nein“ und „nein“ zu. Diesen Antworten wurden die Zahlen 1, 2/3, 1/3 und 0 zugeordnet. Die Antworten auf ein und dieselbe Frage wurde über alle Fragebögen summiert und durch deren Anzahl dividiert. Für das Rückübersetzen in eine verbale Antwort wurde jene Antwort gewählt, deren zugeordnete Zahl der errechneten am nächsten kommt. Eine Frage ließ nur „ja“ oder „nein“ zu. In diesem Fall wurde mit 1 und 0 gerechnet. Die errechnete Zahl wurde immer mit angegeben. Die Antworten auf offene Fragen wurden fragenweise gesammelt und daraus jene ausgewählt, die im Sinne der Forschungsfrage bedeutsam sind.

### Auswertung der numerischen Fragen

- |                      |                      |
|----------------------|----------------------|
| 1) Eher ja (0,79)    | 11) Eher nein (0,49) |
| 5) Eher ja (0,58)    | 12) Eher ja (0,79)   |
| 6) Eher ja (0,70)    | 13) Eher nein (0,32) |
| 7) Eher ja (0,58)    | 14) Ja (0,98)        |
| 8) Eher ja (0,69)    | 15) Eher nein (0,33) |
| 9) Eher ja (0,77)    | 16) Ja (0,95)        |
| 10) Eher nein (0,45) | 18) Eher ja (0,56)   |