

Reihe „Pädagogik und Fachdidaktik für LehrerInnen“

Herausgegeben von der

Abteilung „Schule und gesellschaftliches Lernen“

des Interuniversitären Instituts für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung

Gerhard Kern

Was bringt das Experiment für das Verständnis?

Schülerexperimente im Chemieunterricht

PFL-Naturwissenschaften, Nr. 33

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.

Inhaltsverzeichnis

1 Ausgangssituation	1
2 Meine Forschungsfrage	2
3 Die Daten	2
3.1 Methode der Datenerhebung - Datenhintergrund	2
3.2 Vorgangsweise bei der Datenbearbeitung und -interpretation	3
3.3 Schüleraussagen über den Nutzen des Experiments für das Verständnis	4
3.3.1 Daten und Kategorien	4
3.3.2 Zusammenfassung in sieben "vernetzten" Thesen	8
3.4 Kritik und Kommentare	9
3.4.1 Allgemeine Kritik	9
3.4.2 Kommentare zu einzelnen Schüleraussagen	10
4 Mein persönlicher Gewinn	10
5 Offene Fragen	11
6 Further Research	12
7 Literatur	12
Anhang 1: Versuche Redoxreaktionen	13
Anhang 2: Schwierigkeiten bei diesem Experiment und ihre möglichen Ursachen	15
Anhang 3: Versuche mit Pepsin	17

Was bringt das Experiment für das Verständnis?

Schülerexperimente im Chemieunterricht

(Abstract/Kurzfassung)

Ausgehend von einem scheinbar misslungenen Schülerexperiment – die Schüler konnten größtenteils ihr theoretisches Wissen nicht anwenden - habe ich begonnen, die Sinnhaftigkeit solcher Experimente zu hinterfragen. Dabei wollte ich von der Sichtweise der Schüler ausgehen, um Antworten darauf zu finden, wie wichtig Experimente für das Verstehen sind.

Zunächst versuchte ich zu klären, was Verständnis bedeutet. Ich fand dabei das Bild eines Netzes, dessen Knoten für Faktenwissen stehen und dessen Fäden die Zusammenhänge symbolisieren. Im Lernprozess kommen ständig neue Knoten und Fäden dazu.

Mit Hilfe dieses Bildes versuchte ich die Aussagen aus mehreren Schülerinterviews zu kategorisieren, z.B. dass das Experimentieren ihnen hilft, Verständnislücken zu schließen, Missverständnisse zu erkennen, auf früher Gelerntes zurückzugreifen, theoretisches Wissen zu überprüfen und zu vertiefen, praktische Erfolge zu erleben oder größere Zusammenhänge zwischen unterschiedlichen Wissens- und Erfahrungsbereichen herzustellen.

Die Kategorien übersetzte ich schließlich ins Bild vom Wissensnetz.

Aus der Analyse der Schülerinterviews ergaben sich ferner eine Reihe von Ideen, wie man Schülerexperimente besser gestalten könnte, um das Verstehen zu fördern:

- **Mehr Zeit für die Nachbereitung!**
Das Verhältnis der Zeit für Durchführung bzw. Aufarbeitung der Ergebnisse muss optimiert werden.
- **Prozesse sind manchmal wichtiger als Produkte!**
Auch scheinbar fehlgeschlagene Experimente können lehrreich gewesen sein
- **Experimente können Schülern dabei helfen, falsche Vorstellungen zu revidieren!**
Es muss möglich sein, selbständig nach Erklärungen zu suchen und ihre Gültigkeit zu testen.

Offen bleibt vorläufig die Frage: *„Wie müssen Schülerexperimente beschaffen sein, dass sie das Verständnis fördern?“*. In einer Fortsetzung der vorliegenden Arbeit wären sowohl Kriterien für verständnisfördernde Schülerexperimente zu entwickeln als auch exemplarische Experimentieranleitungen nach diesen Kriterien.

1. Ausgangssituation

*Chemie
ohne Experiment
ist wie Reiten
ohne Pferd*

Von Anfang meiner Unterrichtstätigkeit an war ich überzeugt, dass das Experiment im Chemieunterricht sehr viel zum Verständnis des Unterrichtsstoffs beiträgt. Davon bin ich auch heute noch überzeugt. Daher setze ich im "normalen" Unterricht (Pflichtgegenstand Chemie) sowohl Demonstrationsversuche als auch Schülerexperimente so oft als möglich ein. Insbesondere besteht das Arbeiten im Wahlpflichtfach überwiegend aus praktischen Schülerübungen samt Auswertung.

Im Schuljahr 1996/97 übernahm ich eine siebte Klasse RG mit ergänzendem Unterricht aus Biologie und Umweltkunde, Physik und Chemie (Pflichtfach). Die Klasse bestand aus neun Burschen, zwei davon kannte ich bereits aus dem Chemieolympiadekurs, diese beiden belegten auch das Wahlpflichtfach Chemie. Zusätzlich zu den drei Wochenstunden sind mir viele Supplierstunden in dieser Klasse in den Schoß gefallen, wir hatten also genug Zeit zum Experimentieren. Ich habe dazu einige Experimente speziell für diese Klasse entworfen oder bestehende Versuchsanleitungen modifiziert. Besonderen Spaß hat mir das Erstellen einer kleinen Serie von Experimenten zum Thema "Redoxreaktionen" gemacht. Dabei sollten meine Schüler die bereits gelernte Theorie auf Beobachtungen von Reaktionen anwenden, um die untersuchten Vorgänge als Reaktionsgleichungen aufzuschreiben.¹ Zu meiner großen Verwunderung und Enttäuschung stellte sich heraus, dass nicht einmal sehr gute Schüler mit Erfahrung im Experimentieren (Chemie-Olympiade-Schüler) ohne meine Hilfe dazu in der Lage waren. Offensichtlich ist der Wechsel zwischen der Ebene des theoretisch Gelernten und der Ebene der in der Praxis gemachten Beobachtungen überaus schwierig.

Dieses Erlebnis löste einen Nachdenkprozess über den Wert des Experiments und seinen Einsatz im Chemieunterricht aus. Folgende Fragen kamen mir dabei in den Sinn:

1) Fragen, diese spezielle Situation betreffend:

- ♦ Warum konnten meine Schüler das gestellte Problem nicht lösen, obwohl sie die Theorie verstanden und auch richtig beobachtet hatten?²
- ♦ Hat das Experiment sein Ziel verfehlt, oder habe ich es durch die „Auflösung des Rätsels“ bei der Nachbesprechung doch noch erreicht?³

2) Fragen allgemeiner Art:

- ♦ Welche Ziele lassen sich durch Schülerexperimente überhaupt erreichen?
- ♦ Bewirkt der Einsatz von Schülerexperimenten wirklich ein besseres Verständnis?
- ♦ Wie müssen Schülerexperimente beschaffen sein, dass sie das Verständnis fördern?

¹Die Originalvorschriften finden sich im Anhang 1, ebenso eine detailliertere Beschreibung der näheren Umstände.

²Eine Liste vermuteter Ursachen findet sich im Anhang 2.

³Das Ziel war ein besseres Verständnis der Redoxreaktionen durch Anwenden der Theorie auf die Praxis.

2. Meine Forschungsfrage

Die angeführten Fragen haben sich im Laufe etwa eines halben Jahres ergeben.⁴ Da ich sehr viel Vorbereitungszeit für die Ausarbeitung von Arbeitsanleitungen und einiges an Unterrichtszeit für die Durchführung von Schülerexperimenten brauchte, drängte sich natürlich die Frage auf, ob dieser Aufwand sich auch lohnt oder ob derselbe Unterrichtserfolg nicht auch mit einfacheren Mitteln zu erreichen wäre. So kam ich auf die Grundsatzfrage: **„Was bringt das Experiment für das Verständnis?“**. Im Zuge der Auseinandersetzung damit stellte sich in logischer Konsequenz dann auch die zusätzliche Frage: **„Wie müssen Schülerexperimente beschaffen sein, dass sie das Verständnis fördern?“**

An dieser Stelle scheint es mir wichtig klarzustellen, was wir eigentlich meinen, wenn wir von Verständnis reden.

*„Verstehen bedeutet, dass der Lernende Wissensstrukturen (wie Begriffe, Begriffsnetze, Klassifikationssysteme, Gesetzmäßigkeiten, theoretische Konzepte) entwickelt und dass es ihm gelingt, die zu verarbeitende Information oder die Fakten in diese Strukturen einzuordnen und Beziehungen herzustellen.“*⁵ Diese Definition scheint mir das Bild eines Netzes als sehr brauchbare Metapher für die sinnvolle Organisation von Wissen nahezulegen. Die Knoten dieses Netzes sind einzelne Lerninhalte (Wissen, Informationen), wobei allerdings manche dieser Knoten eigene Netze darstellen, weil das in ihnen gespeicherte Wissen bereits strukturiert vorliegt. Die Fäden im Netz sind die Verbindungen zwischen den Knoten, also die Beziehungen zwischen den einzelnen Lerninhalten. In [2, S 134] heißt es weiter: *„Folglich hängt der Lernerfolg wesentlich davon ab, inwieweit beim Lernenden strukturiertes Wissen vorliegt und angelegt wird.“* Bildlich bedeutet das, dass der Lernende einen Sachverhalt umso besser versteht, je mehr Knoten sein Netz enthält und je mehr Verknüpfungen er zwischen den Knoten herstellen kann. Verständnis fördern bedeutet in diesem Bild den Einbau von zusätzlichen Knoten und Fäden zu fördern.

3. Die Daten

3.1 Methode der Datenerhebung - Datenhintergrund

Als Untersuchungsmethode erschienen mir Schülerinterviews geeignet, die bei einem PFL-Regionalgruppentreffen im Jänner 1998 mit meiner (oben beschriebenen - inzwischen achten) Klasse durchgeführt wurden.

Zunächst wurde meine Klasse während eines Schülerexperiments⁶ von den KollegInnen aus meiner PFL-Regionalgruppe beobachtet und im Anschluss daran interviewt. Je zwei Lehrer befragten eine Gruppe von zwei oder drei Schülern, so dass alle Schüler der Klasse ihre Aussagen machen konnten. Die Interviews wurden auf Tonband festgehalten.

Ich hatte den Interviewern keinen ausgefeilten Fragenkatalog gegeben, der abgearbeitet hätte werden sollen, sondern nur wenige Fragen vorgeschlagen, etwa: „Wie ist es dir während des

⁴In diese Zeit fiel auch der Beginn des PFL-Lehrgangs.

⁵[2], S 134

⁶„Versuche mit Pepsin“, Originalvorschrift und Fragen zur Auswertung siehe Anhang 2. Die Idee für dieses Experiment stammt aus [1], S 136-38.

Experiments gegangen?“ „Was hast du aus dem Experiment gelernt?“ „Was ist für dich das Schwierigste beim Experimentieren?“ „Welcher Nutzen steckt für euch in einem Experiment?“ In den Interviews gingen die Interviewer spontan auf Äußerungen der Schüler ein und formulierten aus der Situation heraus weitere Fragen, wie z.B. „Welche Experimente waren für dich am interessantesten?“ „Könnt ihr euch an sogenannte Aha-Erlebnisse erinnern, wo euch durch das Experimentieren etwas aufgegangen ist?“ „Wie geht ihr vor, wenn während der Bearbeitung der Fragen ein Problem auftaucht?“

Was ich ursprünglich als Mangel in der Planung der Schülerinterviews empfunden hatte, nämlich eine ziemlich vage Vorgabe für die Interviewfragen, hat sich im Nachhinein als Vorteil erwiesen: Die Schüler haben dadurch Gesichtspunkte eingebracht, die durch genau vorgegebene Fragen möglicherweise nicht entdeckt worden wären. Ich habe also als wertvolles, zunächst nicht beabsichtigtes Nebenprodukt eine Fülle von Antworten, unter anderem auch auf die Frage *„Wie muss ich Schülerexperimente gestalten, dass sie das Verstehen fördern?“* bekommen.

In Bezug auf die Forschungsfrage *„Was bringt das Experiment für das Verständnis?“* ist zu bemerken, dass es *das* Experiment nicht gibt. Man muss also immer davon ausgehen, dass die Schüler aus ihrer beschränkten Experimentiererfahrung heraus antworteten: Großteils haben sie Experimente durchgeführt, bei denen im Anschluss an das eigentliche Experiment eine Auswertung in der Gruppe zu erfolgen hatte. Die beiden im Anhang enthaltenen Arbeitsunterlagen sind charakteristische Beispiele. Weitere Highlights, von den Schülern auch in den Interviews angesprochen, waren eine Schwefelgehaltsbestimmung in Wein, die Bestimmung des Citronensäuregehalts von Zitronen (Wahlpflichtfach), Fettgehalt von Knabberwaren (WaPfl), Reaktionen von und Nachweisreaktionen für Alkohole.

3.2 Vorgangsweise bei der Datenbearbeitung und –interpretation

Zunächst habe ich die Tonbänder mit den Interviews transkribiert⁷ und die für mich interessanten Aussagen markiert. Diese Aussagen habe ich dann in drei Gruppen eingeteilt:

- 1.: Antworten auf die Frage *„Was bringt das Experiment für das Verständnis?“*
- 2.: Schüleräußerungen, die Hinweise zur Beantwortung der Frage *„Wie muss ich Schülerexperimente anlegen, damit sie etwas bringen?“* enthalten.
- 3.: *Sonstiges* (z. B. Aussagen über Lehrerverhalten).

Um den Rahmen für die vorliegende Arbeit nicht zu sprengen, habe ich hier nur die Daten der ersten Gruppe verarbeitet: Ähnliche **Schüleraussagen** habe ich zu Gruppen zusammengefasst und versucht, für die einzelnen Gruppen **Kategorien** zu finden. Bei der näheren Betrachtung der Kategorien ist mir die Idee gekommen, **Thesen** im Bild des Netzes zu formulieren, **was das Experiment bewirken könnte**.

⁷Es gibt vier Transkripte. Jeder Schüler erhielt willkürlich eine Nummer zugeordnet, so dass seine Aussage jederzeit wiederauffindbar ist. [INT 4/9/2,52-3,16] bedeutet: Transkript 4/Aussage des Schülers 9/Seite 2, Zeile 52 - Seite 3, Zeile 16

Ich habe mich einerseits vom Bild des Netzes, andererseits von der Vielfalt der Schüleraussagen inspirieren lassen. Manche der daraus gewonnenen Ideen, was das Experiment bewirken könnte, erscheinen mir selber kühn und stützen sich z.T. lediglich auf eine einzige Schüleraussage. Daraus gleich die positiven Auswirkungen von Schülerexperimenten beweisen zu wollen, wäre allerdings fragwürdig. Repräsentativ können die Aussagen von neun Schülern eines ganz bestimmten Schultyps ohnehin nicht sein. Geht man allerdings davon aus, dass der Sinn dieser Untersuchung darin liegt, sich Klarheit über den Nutzen von Schülerexperimenten zu verschaffen, so scheint es mir gerechtfertigt, die Schüleraussagen als Denkanstoß zu verwenden. Zudem ist noch zu bemerken, dass nur ein Teil der Schüleraussagen tatsächlich gemachte Erfahrungen ausdrücken, andere aber bloße Vermutungen, was bei Formulierungen wie *"man sollte ..."*, *"ich find' auch, dass..."*, *"sicher müsste auch ..."*, *"würde ich sagen"* augenfällig ist.

Das alles ist zu beachten, um dem möglichen Vorwurf zu entgehen, ich würde die Zitate aus den Interviews dazu missbrauchen, meine vorgefasste Meinung über die Schlüsselrolle von Experimenten bloß selbst zu bestätigen. Der Leser oder die Leserin möge sich aber selbst ein Bild machen.

3.3 Schüleraussagen über den Nutzen des Experiments für das Verständnis

Im ersten Unterabschnitt (3.3.1) werden die wesentlichen Aussagen der interviewten Schüler gesammelt wiedergegeben und kategorisiert. Befragt wurden sie in erster Linie danach, was Experimente aus ihrer Sicht für das Verständnis von Chemie bringen. Gemeint waren in erster Linie Schülerexperimente, einige Aussagen beziehen sich auch auf Lehrerexperimente oder Experimente in der Forschung. Im zweiten Unterabschnitt (3.3.2) werden die aus den Schüleraussagen gewonnenen Kategorien den Thesen im Bild des "Wissens-Netzes" gegenübergestellt.

3.3.1 Daten und Kategorien

Zeichenerklärung:

- Schülerzitate aus den Interviews;
- ◆ Schülerzitate aus den Interviews, die den am häufigsten geäußerten Meinungen widersprechen.

Die Zitate sind durchgehend nummeriert.

- 1 *"Das eigenständige Arbeiten wird auf alle Fälle auch gefördert..." [INT 3/5/6,12]*
- 2 *"Ich find' auch, die Experimente sind, wenn man sie selber ausführt, sicher verständlicher, als wenn der Lehrer vorne sie macht, weil irgendwie passt ma' dann nicht so genau auf..." [INT 4/8/1,18-20]*
- 3 *"Die Frage war, man hat sieben Stoffe, und irgendwie soll man herausfinden, welcher Stoff welcher ist, und das haben wir glaube ich, zwei oder drei im Schülerexperiment ausprobiert und die restlichen waren vom Lehrer, und da sind bei mir jedenfalls von den Schülerexperimenten sehr viel mehr hängengeblieben als von dem, was der Lehrer vorne gemacht hat." [INT 4/8/7,34-40]*
- 4 *"Man konzentriert sich auch viel stärker auf das Experiment, wenn man selber das macht. Also zum Beispiel, wenn der Lehrer das sagt und man versteht's nicht, schaltet man ab und weiß das dann eben ganz einfach nicht. Beim Experiment geht das natürlich nicht." [INT 3/5/10,20-23]*

**Kat.1: Das Schülerexperiment intensiviert
die Auseinandersetzung mit dem Thema.**

Allerdings meint ein Schüler im Gegensatz dazu:

- 5 *"Demonstrationsexperimente haben den Vorteil, dass man sich auch eher darauf konzentrieren kann, warum das jetzt alles so ist, und bei den Schülerexperimenten ist man schon selber so damit beschäftigt, dass das alles überhaupt funktioniert, dass man dann nicht so besonders gut auf die Rückschlüsse kommt."*
[INT 1/2/7,20-24]

- 6 *"...und haben dann versucht [...] fehlende Stücke sozusagen, die uns vom Wissen her gefehlt haben, somit zu ergänzen. [...] Dann haben wir daraus schließen können, dass es zu keiner Reaktion mehr kommen kann."*
[INT 4/9/ 2,52-3,16]
- 7 *"Schülerexperimente dienen auch, meiner Meinung nach, schon dem Verständnis auch, wenn man irgendwas in der Theorie nicht so gut erkannt hat, sieht man das doch sehr eindeutig dann im eigenen Experiment."*
[INT 3/5/10,17-19]
- 8 *"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 2/4/7,25-27]*

**Kat.2: Das Schülerexperiment ermöglicht
das Erkennen und Auffüllen von Wissens- und Verständnislücken**

- 9 *"Man muss es ja verarbeiten auch und ich find' das geht mit solchen Experimenten wesentlich besser als nur trockene Materie zu machen, also..." [INT 4/9/1,36-37]*
- 10 *"Es ist sicher a Obwechslung, und das Verständnis ist auch besser." [INT 4/8/1,28]*
- 11 *"...und da war dieser Versuch auch hilfreich, um das Ganze noch besser zu verstehen. Es war eigentlich eine Simulation von Vorgängen im Magen." (Pepsin) [INT 1/2/4,37-39]*
- 12 *"Ich find' in Biologie hat man es ja nur erfahren, man erfährt ja nur, dass etwas passiert und man erfährt, auf welchen Dingen das Ganze basiert [...]. Und in Chemie haben wir jetzt das Ganze nicht nur erfahren, sondern auch gesehen, und es hilft dadurch vielleicht bei der Verarbeitung." [INT 4/9/2,30-34]*
- 13 *"...wenn man das wirklich sieht und auch nochmal macht, des is ja auch eigentlich eine Wiederholung und somit hat man's schon zweimal gehört und dann noch gesehen auch noch, also für visuelle Typen, somit merkt man es sich sicher besser." [INT 4/8/2,26-29]*
- 14 *"...jetzt nach diesem Experiment ist das sehr sehr, viel viel deutlicher, jetzt hab' ich das viel deutlicher jetzt und versteh' die Materie jetzt viel, viel besser, würde ich sagen." [INT 2/3/13,21-23]*

Kat.3: Das Schülerexperiment ist eine Hilfe beim Verarbeiten des Lehrstoffs

- 17 *"...und jetzt habe ich das irgendwie auf alle übertragen, dass alle Enzyme bei 42,5 Grad denaturieren." [INT 2/4/3,42-43]*
- 18 *"Na, das Aha-Erlebnis war eigentlich, dass ich mir etwas falsch vorgestellt habe." [INT 1/2/10,9]*

Kat. 4: Das Schülerexperiment macht Missverständnisse und falsche Vorstellungen erkennbar.

Eine Aussage weist auf eine ernstzunehmende Gefahr hin:

- 19 *"...wobei man vorsichtig sein muss, wenn man sagt "Verständnis", da es ja eben auch durch Experimente zu Missverständnissen kommen kann, die eben in trockener Materie nicht so vorhanden sein können." [INT 4/9/2,13-15]*

- 20 *"Also, ich zum Beispiel: Wenn ma jetzt einen Test oder irgendwas haben, kann ich mich viel leichter an das Experiment zurückerinnern und die daraus resultierenden Ergebnisse, als wenn ich das nur im Buch durchlese oder so." [INT 3/5/4,28-31]*
- 21 *"Na man sieht, wie das in der Realität abläuft. [...] Ich mein' das war einfach nur die Wiederholung von dem schon Gelernten, also die Anwendung im Prinzip." [INT 1/1/7,3-5]*
- 22 *"Ich würde sagen, das Experiment ist eigentlich eine teilweise Erweiterung der Theorie, teilweise, dass ma' mehr darauf eingeht" [INT 3/5/10,31-32]*

Kat. 5: Das Schülerexperiment verbessert die Verankerung des Wissens.

- 23 *"Also er will uns quasi mit den Experimenten zum Nachdenken anregen." [INT 3/5/1,38]*
- 24 *"Beim Schülerexperiment [sind] also vor allem auch die Grundlagen dann gefragt." [INT 3/6/4,3-4]*
- 25 *"Und bei der Auswertung muss man sich zusammensetzen und darüber reden, was man schon weiß und so" [INT 3/5/2,39-40]*

Kat. 6: Das Schülerexperiment zwingt zum Rückgriff auf bereits Gelerntes⁸

- 26 *"... und er wollte sehen, ob das, was er uns in der Stunde beibringt, ob wir das dann [...] umsetzen können." [INT 2/3/7,10-14]*
- 27 *"Und ich seh' das: Aha, hab' ich das jetzt kapiert oder nicht?" [INT 2/4/7,24-25]*
- 28 *"Wir haben das Stoffgebiet vorher durchgenommen und deswegen, das war nur a' Bestätigung." [INT 1/1/1,20-21]*
- 29 *"Passiert das jetzt da wirklich? [...] Da will man erfahren, ob der Lehrer wirklich das, was er sagt, dass das wirklich..." [INT 2/3/7,47-48]*
- 30 *"Es dient dazu, dass die Schüler eben sich selbst bestätigen können, was wir gelernt haben, stimmt denn, was wir gelernt haben? Funktioniert. Und man kann es anwenden auch." [INT 4/9/5,16-18]*

Kat. 7: Das Schülerexperiment gibt Gelegenheit, theoretisches Verständnis anzuwenden und praktisch zu überprüfen.

- 31 *"Was mir wirklich am meisten an dieser Stunde gefallen hat, von diesem Experiment, war, dass ich wirklich ohne Vorwissen, jetzt von Chemie her, in der Lage war, ich glaub' 80% der Fragen zu beantworten. Das hat mir gezeigt, dass ich doch in der Lage bin, Assoziationen mit anderen Gegenständen, vor allem in diesem Fall mit Biologie, zu machen und wirklich dieses Wissen, das ich dort mir angeeignet habe, hier anwenden kann, ohne dass ich jetzt speziell in Chemie vorbereitet gewesen bin. Das hat mir gefallen." [INT 2/4/13,27-34] (Der Schüler hatte die vorangegangenen eher theoretischen Unterrichtsstunden versäumt.)*

Kat. 8: Das Schülerexperiment erzeugt Erfolgserlebnisse.

⁸[3], S 114 verwendet den Begriff „Spiel mit dem eigenen Wissen“. Damit ist gemeint, dass man Wissen unter vielen verschiedenen Umständen gleichsam spielerisch abrufft.

- 32 *"Also ein Lehrerexperiment dient wahrscheinlich vor allem der zusätzlichen Erläuterung zu dem bereits Erklärten, damit das also dann auch noch klar wird."* [INT 3/6/4,1-2]
- 33 *"Solang' man das nicht selbst gesehen hat, also, präsentiert sich das eigentlich ziemlich trocken, wenn man's nur liest - die Reaktionen und so."* [INT 3/6/4,16-18]
- 34 *"I mein, man muss doch irgendwie den Bezug zur Realität haben. Wenn man halt so die ganze Zeit Theorie hört, dann weiß man eigentlich nicht wirklich, was da so vorgeht, da kann man sich nicht sehr viel vorstellen unter dem, was man hört."* [INT 1/2/5,38-41]

**Kat. 9: Das Schülerexperiment verbindet
die Erfahrung mit der Theorie.**

- 35 *"Na, da gibt's ja dann quasi auch Verweise quasi mehr oder weniger zum Allgemeinwissen, mit dem Organ da zum Beispiel, also damit man dann eben nicht nur auf die Chemie da beschränkt ist."* [INT 3/6/4,12-14]
- 36 *"... und vor allen Dingen ist es etwas, was nicht nur jetzt Chemie selbst betrifft, sondern auch in die Biologie hereinreicht"* [INT 4/9/1,45-46]

**Kat. 10: Das Schülerexperiment macht
Zusammenhänge zwischen verschiedenen Fächern sichtbar.**

Eigenartigerweise sagt derselbe Schüler (●36) an anderer Stelle:

- 37 *"... aber man tendiert auch in Chemie dazu, dann Fragen aus Biologie oder Physik zu adaptieren, und das ist dann völlig daneben sozusagen."* [INT 4/9/9,12-13]

3.3.2 Zusammenfassung in sieben "vernetzten" Thesen

In der folgenden Tabelle habe ich versucht, aus den Kategorien die Auswirkungen auf das Wissensnetz abzuleiten und damit eine Antwort auf die Forschungsfrage „Was bringt das Experiment für das Verständnis?“ zu geben. Zu lesen ist die Tabelle so, dass die linke Seite die rechte zur Folge hat, z. B.: Das Schülerexperiment intensiviert die Auseinandersetzung mit dem Thema und fördert so das Einfügen neuer Knoten und Fäden ins Netz. Der Leser möge versuchen, den Übergang von den Kategorien zu den Thesen nachzuvollziehen, z. B.: Warum bewirkt der erzwungene Rückgriff auf bereits Gelerntes eine Stabilisierung des Netzes? Das Gelernte wird in einem neuen Zusammenhang wieder abgerufen, dadurch ergeben sich neue Beziehungen, also Fäden im Netz. Je mehr Fäden das Netz enthält, desto besser ist das Verständnis (siehe Seite 5).

Das Schülerexperiment	
<ul style="list-style-type: none"> ■ intensiviert die Auseinandersetzung mit dem Thema ■ ermöglicht das Erkennen und Auffüllen von Wissens- und Verständnislücken ■ ist eine Hilfe beim Verarbeiten des Lehrstoffs ■ gewährt Einblick in das Denken der Mitschüler 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> fördert das Einfügen neuer Knoten und Fäden ins Netz
<ul style="list-style-type: none"> ■ macht Missverständnisse und falsche Vorstellungen erkennbar 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> ermöglicht das Erkennen und Reparieren von Fehlern im Netz
<ul style="list-style-type: none"> ■ verbessert die Verankerung des Wissens 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> erleichtert den Zugang zu den Knoten des Netzes
<ul style="list-style-type: none"> ■ zwingt zum Rückgriff auf bereits Gelerntes 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> bewirkt Stabilisierung des Netzes
<ul style="list-style-type: none"> ■ gibt Gelegenheit, theoretisches Verständnis anzuwenden und praktisch zu überprüfen 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> liefert die Bestätigung, dass das Netz sich bewährt
<ul style="list-style-type: none"> ■ erzeugt Erfolgserlebnisse 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> macht Lust auf's Weiterknüpfen
<ul style="list-style-type: none"> ■ verbindet die Erfahrung mit der Theorie ■ macht Zusammenhänge zwischen verschiedenen Fächern sichtbar 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> regt an zum Verknüpfen unterschiedlicher Netze

3.4 Kritik und Kommentare

3.4.1 Allgemeine Kritik

1) Die Schüler stellten in den Interviews häufig Vermutungen an oder gaben indirekt Gehörtes wieder. Ich frage mich, inwieweit sich hier meine eigenen Einstellungen widerspiegeln, und ob meine Schüler die Interviews nicht als eine Art Prüfung über die Anliegen des Lehrers auffassten, die sie "richtig" wiederzugeben versuchten.

Verlasse ich mich nur auf die Schüleraussagen, die authentische eigene Erfahrungen zum Inhalt haben, so bleiben nur wenige übrig: 6, 8, 15, 16, 17, 18, 20, 25, 27, 31. Für meine Thesen, die ich aus den Zitaten gewonnen habe, musste ich gewissermaßen „zwischen den Zeilen lesen“. Ich habe in den Kommentaren zu einzelnen Schüleraussagen aber versucht, meine Gedankengänge transparent und damit überprüfbar zu machen.

2) Die Schüler gaben praktisch übereinstimmend an, dass sie durch die Experimente den Lehrstoff besser verstehen. Vielleicht glauben sie das wirklich? Ich kenne meine Schüler, und hatte nicht bei allen den Eindruck, dass das auch stimmt. (vgl. etwa ●14). Waren einige in die Falle meiner suggestiven Fragestellung geraten? Mit welchem Instrument lässt sich die Gültigkeit ihrer Aussagen verifizieren? Wie kann der Schüler überhaupt selber erkennen, dass er's verstanden hat?

3.4.2 Kommentare zu einzelnen Schüleraussagen

ad ♦5) Zunächst konnte ich diese Aussage nicht einordnen, denn gerade der Schüler, von dem sie stammt, hat nach zwei Jahren Olympiade- und einem Jahr Wahlpflichtfach-Erfahrung keine Schwierigkeiten im Umgang mit Geräten und Chemikalien. Vermutlich hat er gemeint, dass der Großteil der Unterrichtsstunde für die praktische Arbeit aufgeht und zu wenig Zeit für die Auswertung und Nachbesprechung des Experiments bleibt.

ad ♦19) Darin steckt meiner Meinung nach ein zweifacher Hinweis: Einerseits höre ich aus dieser Aussage wieder die Wichtigkeit der Nachbesprechung heraus, andererseits die Forderung nach sorgfältiger Vorbereitung des Experiments. (Vergleiche auch ●29: Was ist, wenn das Experiment nicht klappt? Solche Situationen rufen - nicht nur beim Schüler! - Zweifel und Verunsicherung hervor)

ad ♦37) Dieser Satz ist im Gespräch über Lückentexte gefallen, die offensichtlich in anderen Fächern gerne verwendet werden. (Ich habe nur ein einziges Mal einen Lückentext bei der Auswertung eines Experiments verwendet und später auf Grund der sehr deutlichen Ablehnung nicht mehr.) Ich kann mir diese Aussage nur so erklären, dass diese Schülergruppe Lückentexte für die Sicherung von Wissen völlig ungeeignet findet.

4. Mein persönlicher Gewinn

Was habe ich – abgesehen von Antworten auf die eigentliche Forschungsfrage (s. Kap. 3) - sonst noch im Zuge dieser Untersuchung gelernt?

Die Konstruktion meiner **Thesen zum "Verständnis-Netz"** war für mich überaus fruchtbar - sie enthalten eine Reihe von Anregungen zur besseren Gestaltung meines Chemieunterrichts. Daran weiterzuspinnen liefert vermutlich noch weitere Ideen.

Die Schüleraussagen führten mich zu einer Reihe von neuen Aspekten und Verbesserungsmöglichkeiten bei Schülerexperimenten :

♦5 machte mich auf die Notwendigkeit aufmerksam, **mehr Zeit für die Nachbereitung** einzuplanen. Ich hatte die Bedeutung der Nacharbeit für die Schüler bislang offenbar unterschätzt. Der Wunsch nach mehr Zeit für die Aufarbeitung wurde auch in einer zweiten Interviewgruppe geäußert. *"Für mich wär' eigentlich mehr Zeit für's Auswerten nötig als für das Experiment selber, also ich würd' sagen vierzig/sechzig."* [INT 3/5/2,48-49] (Gemeint sind 40% der Stunde für Experiment, 60% für Auswertung und Besprechung in der Gruppe). Offensichtlich ist es auch wertvoll zu erfahren, wie die anderen mit der Aufgabenstellung umgegangen sind (siehe ●16).

●15 hat mich mit einem Hinweis nachdenklich gestimmt: Trotz intensiver Bemühungen kann es vorkommen, dass eine Gruppe kein Ergebnis im Sinne des Verlangten vorweisen kann. Dennoch könnte die Arbeit aber für das Verstehen nützlich gewesen sein. Vielleicht sind **Prozesse manchmal wichtiger als kurzfristig lieferbare Produkte**. Wichtig in diesem Zusammenhang erscheint mir aber, den Prozess für alle sichtbar zu machen. Ich glaube, hinter dieser Erkenntnis steckt noch mehr, was ich damit anfangen soll, weiß ich allerdings noch nicht.

●18 hat mir einen Nutzen des Experiments bewusst gemacht, der mir vorher nicht so klar war, als Anregung nehme ich mit, dass ich in Hinkunft bewusst Experimente so konstruieren könnte, dass sie **gängige falsche Schülervorstellungen revidieren** helfen.

●30 hat mir bei näherer Betrachtung in Erinnerung gebracht, dass das Experiment eine Möglichkeit bereithält, sich **von Autoritäten zu emanzipieren**: Es gibt außer dem Lehrer auch noch eine andere Instanz, die mir sagt, ob etwas richtig ist.

Was hat mir diese Studie insgesamt gebracht? Hätte ich nicht alles, was hier steht, auch in Büchern lesen können? Vermutlich ja, manches davon habe ich tatsächlich schon vor oder während des Schreibens gefunden, aber dadurch, dass *meine Schüler* das gesagt haben, sind diese Einsichten für mich sehr sehr lebendig geworden und haben für mich an Bedeutung gewonnen.

Dass das Experiment für das Verstehen hilfreich ist, davon war ich überzeugt. Was es wirklich bringt oder bringen kann, ist für mich jetzt klarer.

Die Fragestellung hat sich präzisiert. Aus *„Was bringt das Experiment...“* ist *„Wie muss ich Experimente anlegen, dass sie etwas bringen“* geworden.

Ich habe aus meiner Forschungsarbeit dreierlei gewonnen:

- die Bestätigung, prinzipiell auf dem richtigen Weg zu sein;
- die Einsicht, dass dennoch Vieles verbesserungsfähig und -bedürftig ist
- konkrete Anregungen für einige solche Verbesserungen.

5. Offene Fragen

- 1) Nach wie vor offen ist für mich die Frage, warum es auch guten Schülern schwerfällt, das theoretisch Gelernte mit dem im Experiment Beobachteten zu verbinden? ***„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?“*** (●8)
- 2) Wie muss ich Schülerexperimente anlegen, damit sie möglichst viele verständnisfördernde Aspekte beinhalten?
- 3) Mit welchen Instrumenten lässt sich messen, ob Schüler durch das Experiment einen Sachverhalt wirklich besser verstanden haben? Sind solche Instrumente auch geeignet für die Selbstkontrolle?
- 4) Welche Ziele (außer besseres Verständnis) lassen sich mit Schülerexperimenten im Unterricht noch erreichen? Was bewirkt Selberexperimentieren?

- 5) Welche Lernziele lassen sich auch ohne Experiment erreichen? Für welche ist es unentbehrlich?

6. **Further Research** in this area has to be done

Als Konsequenz ergeben sich für mich aus dieser Miniatur für die weitere Arbeit folgende Vorgangsweisen:

- 1) Aufarbeiten der Schüleraussagen der zweiten Gruppe (siehe Abschnitt 3.2), um daraus **Kriterien für die Gestaltung von verständnisfördernden Schülerexperimenten** zu gewinnen.
- 2) Vergleichen und Ergänzen dieser Kriterien mit bzw. mit Hilfe der **fachdidaktischen Literatur**.
- 3) Verbessern der **Arbeitsvorschriften für Versuche** nach den neuen Kriterien.
- 4) Einsatz dieser neuen Arbeitsvorschriften im Unterricht und Versuch einer **Evaluierung**.

7. **Literatur**

- [1] Bukatsch, F., Glöckner, W. (Hrsg.): Experimentelle Schulchemie, Band 9 , Aulis Verlag Deubner, Köln, 1977.
- [2] Konkrete Fachdidaktik Chemie, (Autorenteam, Federführung: Pfeifer, P., Häusler, K. und Lutz, B.), Oldenbourg Verlag, München, 1992.
- [3] Rollett, B.: Pädagogische Psychologie, 2. Aufl., Wiener Universitätsverlag, Wien, 1988.
- [4] Schmidkunz, H., Lindemann, H.: Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht (4. unveränderte Neuauflage), Verlag Westarp Wissenschaften, Magdeburg, 1995

Anhang 1:

3 Versuche zu Redoxreaktionen:

Material pro Gruppe

(à 3 Schüler):

- 1 Porzellanschale
- 8 Reagenzgläser (12x75)
- RG-Gestell einreihig
- 1 Tropfpipette
- etwas Stahlwolle
- Schwefelsäure H_2SO_4 (10%)
- Wasserstoffperoxid (3%)

Nachweisreagenzien:

- Ammoniumthiocyanat, (NH_4SCN), ($c=2 \text{ mol/l}$)
- Kaliumhexacyanoferrat(II), ($\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$), (5%)
- Kaliumhexacyanoferrat (III), ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$), (1%)

Nachweisreaktionen:

- Fe^{3+} -Ionen geben mit Ammoniumthiocyanat eine blutrote Färbung
- Fe^{3+} -Ionen geben mit Kaliumhexacyanoferrat(II) eine dunkelblaue Färbung
- Fe^{2+} -Ionen geben mit Kaliumhexacyanoferrat(III) eine dunkelblaue Färbung

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_4SCN	Probe + $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	Probe + $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$

Die Beobachtungen sind einzutragen!

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 H₂O₂:

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 ₄ SCN	Probe + K ₄ [Fe(CN) ₆]	Probe + K ₃ [Fe(CN) ₆]

Formuliere mit Hilfe der Methode der Halbreaktionen die Reaktionsgleichung $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \dots\dots\dots$ (Hinweis: Der Wasserstoff des H₂O₂ ändert seine Oxidationszahl während der Reaktion nicht.)

3. Versuch (Reaktion von KMnO₄ mit H₂O₂ in saurer und neutraler Lösung):

Material:

- 2 RG (12x75)
- Kaliumpermanganatlösung
- H₂SO₄ konz.
- H₂O₂ (3%)

In beiden RG werden wenige Tropfen KMnO₄-Lösung werden mit deionisiertem Wasser verdünnt. Das eine RG erhält einen Zusatz von Schwefelsäure, das andere nicht. Zu beiden RG wird Wasserstoffperoxid gegeben.

Beobachtungen notieren!

RG mit Säurezusatz: _____

RG ohne Säurezusatz: _____

Hinweise (bzw. Fragen):

- 1) Welche Oxidationsstufe kann Mn höchstens haben? (Elektronenkonfiguration, PSE)?
- 2) Welche Rolle spielt Wasserstoffperoxid bei dieser Reaktion daher?
- 3) Mn(II)-verbindungen sind schwach rosa gefärbt, ihre wässrigen Lösungen farblos. MnO₂ ist ein brauner, wasserunlöslicher Feststoff.
- 4) Der Wasserstoff im Wasserstoffperoxid ändert seine Oxidationszahl nicht.

Stelle mit Hilfe der Methode der Halbreaktionen für die Vorgänge in beiden RG die Reaktionsgleichungen auf!

Anhang 2:

Schwierigkeiten bei diesem Experiment und ihre möglichen Ursachen

Die Unterrichtssituation:

Die theoretischen Grundlagen der Redox-Reaktionen waren den Schülern bekannt und wurden auch weitgehend verstanden, insbesondere waren alle Schüler in der Lage, ausgehend von gegebenen Redox-Paaren, vollständige Reaktionsgleichungen mit der Methode der Halbreaktionen aufzustellen. Wasserstoff in seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften, sowie Methoden zu seiner Herstellung (großtechnische und Labormethoden, insbesondere die Freisetzung aus Säuren durch Metalle) waren bereits besprochen, allerdings schon längere Zeit vor dem Experiment. Schülerexperimente waren schon mehrmals mit dieser Klasse durchgeführt worden. Nachweisreaktionen als Experiment für sich waren zumindest als Schülerexperiment bislang nicht vorgekommen. Versuche 1 und 2 wurden in einer Unterrichtseinheit durchgeführt, der dritte in der darauffolgenden Stunde.

Die Experimente wurden richtig beobachtet, die Schüler konnten allerdings ihre Beobachtungen nicht mit dem bereits vorhandenen Wissen in Zusammenhang bringen, um die für die geforderte Reaktionsgleichung benötigten Redoxpaare zu finden.

Als **Ursachen** dafür erscheinen mir von meinem heutigen Standpunkt aus folgende Umstände denkbar:

- ◆ Die Aufgabenstellung insgesamt war zu komplex: Die Kombination von Hauptversuch und Nachweisreaktionen stellte eine Überforderung dar. Allerdings hatten auch die beiden Schüler mit Olympiade-Erfahrung, die seit einem bzw. zwei Jahren mit Nachweisreaktionen im Allgemeinen und den hier angegebenen im Besonderen vertraut hätten sein müssen, dieselben Schwierigkeiten wie ihre "normalen" Kollegen.
- ◆ Die Schüler waren zwar gewohnt, in Worten angegebene Reaktionsabläufe in Form von Gleichungen anzuschreiben, Reaktionsgleichungen aus Experimentbeobachtungen heraus zu formulieren, war eine für sie neue Aufgabenstellung.
- ◆ Die Fragen, die eine Hilfestellung bei der Bearbeitung der nach dem Experiment gestellten Aufgabe sein sollten, waren schlecht formuliert oder ihre Reihenfolge war verwirrend oder unlogisch.
- ◆ Die erforderlichen Denkschritte waren zu groß. Mehrere kleinere Fragen wären hilfreicher gewesen.
- ◆ In den Hinweisen und Fragen wurde zu wenig Bezug genommen auf den Theorie-Unterricht. So wären möglicherweise etwa die Anweisungen 'Beschreibe zunächst in Worten die Reaktion, die du beobachtet hast!', 'Was waren die Ausgangsstoffe, was die Reaktionsprodukte?', 'Welche Stoffe bilden zusammen ein Redox-Paar?' hilfreich gewesen, allein durch die Tatsache, dass darin Begriffe aus dem Unterricht erwähnt sind.
- ◆ Die Einheit Theorie/Praxis existiert für die Schüler nicht, Theorie und Praxis werden als zwei getrennte Welten angesehen.
- ◆ Experimente werden eher als Abwechslung denn als Teil des Unterrichts aufgefasst.

Bedauerlicherweise lagen diese Experimente zur Zeit des Interviews (Jänner '98) bereits so weit zurück, dass nur ein Schüler darauf explizit Bezug genommen hat:

"In diesem Fall war auch das Problem, dass wir in der Theorie zu wenig sattelfest waren, und [...] 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]

Anhang 3:

Versuche mit Pepsin (Pepsin ist ein körpereigenes Enzym)

Geräte und Chemikalien

5 Reagenzgläser mit Markierung bei 5 und bei 10 ml
2 Reagenzgläser ohne Markierung
Reagenzglashalter und -gestell
Uhrglas zum Abwiegen des Pepsins, Spatel
Brenner
größeres Becherglas (250 ml (niedere Form) oder größer) als Wasserbad
Thermometer
2 Messpipetten (10 ml) + Pipettierhilfen
Verdünnte Salzsäure (1%ig)
Pepsin
Eiweißlösung (von Hagelschnüren befreites Eiweiß eines Hühnereis mit der
fünffachen Menge destillierten Wassers verdünnt)

Vorbereitung (arbeitsteilig - Gruppen zu je drei):

- 1) Die ausgegebene Eiweißlösung wird im 250 ml Erlenmeyerkolben unter ständigem Schütteln über der Brennerflamme so lange erhitzt, bis eine starke milchige Trübung aufgetreten ist. Vor der Verwendung ist die Suspension abzukühlen.
- 2) In 5 ml lauwarmem dest. Wasser werden 0,2 g Pepsin suspendiert und bis zur vollständigen Lösung geschüttelt.
- 3) Die Reagenzgläser mit Markierung werden von 1 bis 5 durchnummeriert und jedes mit je 5 ml der Eiweißsuspension befüllt.

Durchführung:

Die Reagenzgläser 1 bis 5 erhalten Zusätze gemäß folgender Aufstellung:

Zu Glas 1: 1 ml Pepsinlösung
Zu Glas 2: 4 ml verd. HCl (1%ig)
Zu Glas 3: 4 ml verd. HCl (1%ig) + 1 ml Pepsinlösung
Zu Glas 4: 4 ml verd. HCl (1%ig) + 1 ml Pepsinlösung, die zuvor 1 min. lang
gekocht wurde (Reagenzglas)
Zu Glas 5: Kein Zusatz

Alle RG werden mit dest. Wasser bis zur Markierung gefüllt und durchmischt. Dann stellt man sie in ein Wasserbad von 35 - 40 °C und beobachtet. Das warme Wasser kann dem Speicher im Labor entnommen werden. Die RG sollten von Zeit zu Zeit geschüttelt werden.

Fragen und Aufgaben:

- * Beobachte: Wie verändert sich der Inhalt der Reagenzgläser?
- * Welche Reaktion könnte deiner Meinung nach stattgefunden haben? Begründe deine Aussage!
- * Stelle für jedes Reagenzglas eine Vermutung auf, warum eine sichtbare Veränderung eingetreten bzw. nicht eingetreten ist. Begründe deine Vermutungen mit dem bisher Gelernten!

RG 1:

RG 2:

RG 3:

RG 4:

RG 5:

- * Warum muss man (in Punkt 2 der Vorbereitung) das Pepsin mit lauwarmem Wasser lösen, nicht mit heißem oder kaltem?
- * Die sichtbare Veränderung, die du eben im Reagenzglas beobachtet hast, findet tagtäglich in unserem Körper statt. In welchem Organ?
Wie bist du auf deine letzte Antwort gekommen?
- * Welche weiteren Fragen ergeben sich für dich aus dem Experiment?
Welche dieser Fragen könnten wir durch Variation des Experiments klären?