

Schriftliche Prüfungsarbeit
zur Zweiten Staatsprüfung für das Amt des Studienrats

Thema: Durchführung der vom Landesschulamt Berlin genehmigten
Unterrichtsreihe "Papier" in einem Fundamentalkurs Chemie
des Gymnasiums.

Darstellungsschwerpunkt: Erarbeitung der
Papierherstellung und
- veredelung unter besonderer Berücksichtigung
eines handlungsorientierten Unterrichts.

Vorgelegt von: Michael Marggraf
Landreiterweg 51a
12353 Berlin,
2. Schulpraktisches Seminar Neukölln, Leitung: Herr Griebenow
Fachseminar Chemie, Leitung: Herr Wahner

Abgabedatum: 18.06.1999

Inhaltsverzeichnis:

I. <u>Einleitung:</u>	3
II. <u>Theorie des Handlungsorientierten Unterrichts – Bezug zur Unterrichtsreihe:</u>	4
III. <u>Planung der Unterrichtsreihe:</u>	10-26
1. Sachanalyse.....	10
2. Hinweise zur Durchführung dieser Reihe.....	18
3. Voraussetzungen.....	22
4. Übersicht über die Unterrichtsreihe "Papierherstellung"	24

I. <u>Durchführung und Analyse der Unterrichtsreihe:</u>	27-47
1. Planung und Analyse der ersten Stunde.....	27
2. Planung und Analyse der vierten Stunde.....	32
3. Planung und Analyse der sechsten Stunde.....	38
4. Gesamtreflexion.....	43
I. <u>Literatur:</u>	47
VI. <u>Anhang:</u>	48-49
1. Proben der verschiedenen hergestellten Papiere.....	48
2. Darstellung der von den Schülern erstellten Wandzeitung.....	49

I. Einleitung

"Kein Hörsaal, sondern eine Werkstatt soll die Schulstube sein!" (Gaudig, zitiert in Schmitz 1980, S. 59) Diese und ähnliche Ansichten der Reformpädagogen beeinflussen noch heute die Diskussion um einen Handlungsorientierten Unterricht vor allem in der Grundschuldidaktik. Eigene Unterrichtserfahrungen an der Albrecht-Dürer-Oberschule zeigten mir, dass auch bei Oberschülern durch einen handelnden Umgang mit dem Lerngegenstand, z.B. bei Schülerversuchen im Chemieunterricht, das Interesse erheblich gesteigert werden kann.

Der Bezug des gewählten Darstellungsschwerpunktes der Handlungsorientierung auf die Oberschule ist daher für mich sehr interessant. Die Thematik "Papier" eignet sich in diesem Rahmen in besonderem Maße, da sie eine ausgesprochene Vielfalt an Handlungsanlässen an einem der Alltagswelt der Schüler entnommenen Unterrichtsgegenstand bietet.

Neben der Durchführung der für den Chemieunterricht typischen chemischen Versuche erarbeiten die Schüler in Form ihrer eigenen Papierbogen anfassbare Handlungsergebnisse, die ihnen ihre Lern- und Arbeitserfolge dauerhaft und anschaulich vor Augen führen. Bezugnehmend auf die theoretischen Ausführungen zur Handlungsorientierung im Unterricht (Teil II) werde ich in Teil IV anhand von drei Unterrichtsstunden die praktische Anwendbarkeit der Prinzipien des Handlungsorientierten Unterrichts aufzeigen und in den Unterrichtsanalysen den Einfluss auf Motivation, Unterrichtsbeteiligung und Leistung der Schüler darstellen. Dafür habe ich gewählt: Die erste Stunde aufgrund ihrer Bedeutung für die Einführung in die Thematik und die Motivation der Schüler für das Thema "Papier"; die vierte Stunde, da hier die eigentliche Papierherstellung erarbeitet und ausgeführt wird, also als handlungsintensivstes Herzstück der handlungsorientierten Unterrichtsreihe und die sechste Stunde, in der sich das große Engagement der Schüler, auch leistungsschwächerer, für die Optimierung ihrer Handlungsergebnisse und die Tragfähigkeit der großen Motivation auch für eingeschobene Theorieteile zeigt.

Teil III gibt eine Übersicht über die Unterrichtsreihe sowie das notwendige Sachwissen zum Verständnis dieser Unterrichtsreihe und praktische Hinweise und Tipps zur Vorbereitung und Durchführung der Reihe.

In der Gesamtanalyse bin ich auf die Herstellung der Schöpfrahmen recht ausführlich eingegangen, da sie als fächerübergreifender Anteil der Reihe in meinen Ausführungen zu der "chemischen" Unterrichtsreihe "Papier" nicht auftaucht, sich aber auch und gerade in dieser Stunde die spontane Begeisterung der Schüler und der sich selbst tragende Effekt eines Handlungsorientierten Unterrichts zeigen.

In dieser Arbeit verwende ich die Begriffe Schüler und Lehrer für beide Geschlechter, also Schüler/Schülerinnen und Lehrer/Lehrerinnen.

II. Theorie des Handlungsorientierten Unterrichts - Bezug zur Unterrichtsreihe

Handlungsorientierter Unterricht ist nach Meyer (1994, S. 402 u. Jank 1997, S. 354) "ein ganzheitlicher und schüleraktiver Unterricht, in dem die zwischen dem Lehrer und den Schülern vereinbarten Handlungsprodukte die Organisation des Unterrichtsprozesses leiten, so dass Kopf- und Handarbeit der Schüler in ein ausgewogenes Verhältnis zueinander gebracht werden können."

Charakteristisch für einen solchen Unterricht ist/sind:

- das Lernen durch und/oder während des Handelns,
- Ganzheitlichkeit bzgl. der Lerninhalte (keine stringente fachwissenschaftliche Zersplitterung) und der Sinneseindrücke der Schüler,
- ein Lerngegenstand mit Aufforderungscharakter, durch den der Unterricht mehr als durch den Lehrer strukturiert wird,
- Schüleraktivität in einem dialektischen Verhältnis von Führung durch den Lehrer und Selbsttätigkeit, denn je mehr Handlungskompetenzen der Lehrer den Schülern vermittelt hat, desto selbständiger können sie weiterarbeiten,
- Unterrichtsergebnisse, die man anfassen oder vorführen, mit denen man spielen oder arbeiten kann, die für die Schüler Gebrauchswert haben,
- das Bemühen um die Anknüpfung an Schülerinteressen und die Weiterentwicklung derselben,
- die Beteiligung der Schüler an Planung, Durchführung und Auswertung des Unterrichts,
- die Öffnung der Schule gegenüber individuellen Lernwegen, einem "Aufeinander zugehen" von Lehrern und Schülern und einem fächerübergreifenden Unterricht sowie außerschulischen Lernorten,
- ein möglichst ausgewogenes Verhältnis von Kopfarbeit ("geistige, immaterielle Handlungen") und Handarbeit ("mit Hilfe des Körpers durchgeführte materielle Handlungen"), praktisches Tun, Denken und Wissensaneignung sollen eine Einheit bilden.

(Meyer 1994, S. 402 ff.; Jank 1997, S. 355 ff.; Vaupel 1997, S. 12)

Die Idee des Handlungsorientierten Unterrichts hat eine lange Tradition und findet sich bereits bei den Klassikern der Pädagogik, Comenius (1592 - 1670), Rousseau (1712 - 1778) und Pestalozzi (1746 - 1827), von dem die heute oft zitierte Formel vom Lernen mit "Kopf, Herz und Hand" stammt. Handlungsorientiertes Lernen spielte in der reformpädagogischen Bewegung um Dewey, Kerschensteiner, Gaudig u.a. im ersten Drittel dieses Jahrhunderts eine wichtige Rolle (Vaupel 1997, S. 15).

Die lerntheoretischen Grundlagen lieferten unter entwicklungspsychologischen Gesichtspunkten jedoch erst Jean Piaget und Hans Aebli mit ihrer kognitiven Handlungstheorie (Vaupel 1997, S. 16). Aebli (1980, S. 61): "Denken geht aus dem Handeln hervor, und es trägt ... noch grundlegende Züge des Handelns, insbesondere seine Zielgerichtetheit und Konstruktivität."

Sowohl die reformpädagogischen Vorstellungen als auch die Arbeiten Piagets beeinflussten und beeinflussen vor allem die Grundschule. Entsprechend bezieht sich auch die gegenwärtige Diskussion über handlungsorientiertes Lernen vor allem auf den Grundschulbereich. Im Folgenden werde ich anhand psychologischer und physiologischer Forschungsergebnisse aufzeigen, dass das Konzept des handlungsorientierten Unterrichts auch in der Oberschule einen festen Platz haben sollte. In einem eintönigen, verbal-informierenden Frontalunterricht sind Aufmerksamkeitsstörungen, Desinteresse, Stuhlrutschen, Zappelerei und der Gang zum Papierkorb oder zur Toilette auch in der Oberschule häufig zu beobachten.

Solches Kompensierungsverhalten in reizarmen oder -monotonen Unterrichtssituationen dient der Selbstaktivierung. Reizarme oder -monotone Situationen führen aufgrund einer zu niedrigen

Aktivierung des Großhirns zu Konzentrationsschwierigkeiten, tagtraumartigen Zuständen, Denkstörungen, Unruhezuständen, kurzum: zu einem Abfall der Leistungsfähigkeit. Langeweile, Desinteresse und Konzentrationsschwierigkeiten sind neben dem oben beschriebenen Kompensierungsverhalten sichtbare Anzeichen mangelnder Aktivierung. Die Aktivierung des Großhirns erfolgt über Sinneseindrücke und Bewegungsreize, dabei haben sich wechselnde Mehrfachreize, wie sie ein handlungsorientierter Unterricht gewährleistet, als am günstigsten erwiesen, während es bei Reizgewöhnung zu einem Abfallen des Aktivierungsgrads kommt. Ein mittleres Aktivierungsniveau ist optimal; Puls, Atemfrequenz, muskuläre Anspannung und ein Gefühl des Dabei- und Aktiv-Seins sind Zeichen der Aktivierung. Lampenfieber, Angst, Denk- und Lernblockaden sind dagegen Auswirkungen einer zu hohen Aktivierung (Möller 1987, S. 108 ff.).

Aufmerksamkeitsstörungen sind oft die Folge von Sauerstoffmangel im Gehirn, das immerhin 15 bis 20 % des Sauerstoffbedarfs des gesamten Körpers verbraucht. Dynamische Arbeit bewirkt durch den ständigen Wechsel von Muskelspannung und Muskelerschlaffung eine Pumpwirkung mit gesteigerter Durchblutung und somit besserer Sauerstoffversorgung nicht nur der betreffenden Muskelpartien, sondern auch des Gehirns. Zudem stimuliert eine gewisse Adrenalinausschüttung durch dynamische Arbeit die Bewusstseinshelligkeit (Möller 1987, S. 106; Schmidt/Thews 1995, S. 677 ff.). Statische Arbeit wie z.B. Lesen und Schreiben ist hingegen ermüdend. Sie wird sich in der Oberschule nicht vermeiden lassen, daher ist ein Ausgleich durch Bewegung der betreffenden Muskelpartien, z.B. in einem handlungsorientierten Unterricht, wünschenswert und kann zu einer Leistungssteigerung führen.

"Dinge, die man getan und mit mehreren Sinnen wahrgenommen hat, prägen sich besser ein als verbale Informationen. Inhalte, die in übergeordnete Handlungszusammenhänge eingebettet sind, bleiben eher haften als isolierte Informationen" (Möller 1987, S. 161).

Handlungen fördern die multidimensionale Kodierung von Lerninhalten. Die multidimensionale Kodierung ist die Speicherung von verschiedenen Merkmalen und Eigenschaften eines Inhaltes. Vor allem, wenn Vorerfahrungen noch weitgehend fehlen, wird sie zum lern- und gedächtniswirksamen Faktor im Lernprozeß. (Möller 1987, S. 166 ff.)

Der Neurobiologe Vester bestätigt die Bedeutung der multidimensionalen Information aufgrund gedächtnisphysiologischer Erkenntnisse: Die handelnde, sinnesintensive Bearbeitung und die anschauliche Darstellung eines Lerninhaltes beteiligen neben dem auditiven "Eingangskanal" weitere "Sinneskanäle", lassen sensorische und motorische Gehirnregionen "mitschwingen" und schaffen dadurch viele verbundene Assoziationen. Dies lässt die nervalen Erregungen länger "kreisen" und fördert dadurch den Übergang in das Langzeitgedächtnis. Über die verschiedenen Begleitinformationen bieten sich vielseitige Möglichkeiten, diese Informationen später wieder abzurufen. (Vester 1981, S. 142 ff.) Allerdings müssen diese Begleitinformationen in die kognitive Struktur des Inhalts eingebettet sein. Das Essen von Buchstabenkeksen führt nicht zu einem besseren Behalten des Alphabets! Ebenso kann nicht verstandenes und verbal nicht gefestigtes Nachahmen von Handlungen nicht zu einer Aktualisierung des Lernzusammenhanges mit seinen kognitiven Beziehungen beitragen (Möller 1987, S. 174). Aber wenn die Handlungsstruktur im Wesentlichen mit der kognitiven Struktur übereinstimmt, besitzt die Handlung Gestaltcharakter. Denn Inhalte, die in einen übergreifenden Handlungszusammenhang eingebettet sind, erhalten Sinn und Bedeutung durch das gemeinsame Ziel und verbinden sich zu einem beziehungsreichen Ganzen. "Innerhalb der Handlungsgestalt besteht Kohärenz; ihre Ausrichtung auf ein wohldefiniertes Ziel begründet die Geschlossenheit der vollendeten und den Dynamismus der unvollendeten Handlung" (Aebli zit. in Möller 1987, S. 182). Entsprechend sinnvoll zusammenhängendes Material wird besser behalten als Einzelwissen. Die günstige Wirkung auf den Gedächtnisprozess wird noch verstärkt, wenn der Sinnzusammenhang durch den Schüler selbst hergestellt wird (Möller 1987, S. 183 ff.).

Die Inhalte erhalten eine subjektive Bedeutsamkeit. Solche Inhalte werden leicht unwillkürlich, ohne besonderes Bemühen eingepägt. Eine Arbeit, die ohne Einsicht in ihre Bedeutung

vollzogen wird, ist zwar eine motorische Beschäftigung, fördert aber nicht die kognitive Aktivität, das Beobachten von Handlungswirkungen, das Finden und Lösen von Problemen und das Einprägen der Handlungsinhalte. Nicht allein die motorische Aktivität im Lernprozess, sondern das Durchdringen von Handeln, Denken und Erleben bedingt die Gedächtniswirksamkeit des handelnden Lernens (Möller 1987, S. 179).

Das auffälligste, in jedem von praktischem Handeln durchsetzten Unterricht zu beobachtende, ist der Drang zu manipulatorischem Umgang mit den Dingen, zum Anfassen und zur körperlichen Aktivität, was sich in der großen Begeisterung der Jugendlichen zeigt. Je intensiver sich Jugendliche motorisch und eigenaktiv betätigen können, umso größer ist ihre momentane Aktivierung und Motivation. Die hohe Motivation und die dadurch auch erhöhte allgemeine physiologische Aktivierung fördern das langfristige Behalten der mit dem Handeln verbundenen Inhalte (Möller 1987, S. 178). Diese Beobachtungen werden von dem Neurobiologen Vester (1981, S. 77 ff.) durch Forschungsergebnisse bzgl. des Hormonhaushaltes gestützt. Negative Gefühle wie Angst und Misserfolgserlebnisse führen zu Stressreaktionen und damit zur Bildung von Stresshormonen, die wiederum als Gegenspieler zu den Transmitterhormonen, die für die Impulsübertragung verantwortlich sind, wirken. Die Behinderung der Fortleitung der Nervenimpulse kann sich in plötzlichen Denkblockaden, Sinnesstörungen und Denkausfällen äußern. Dagegen fördert eine positive, durch Freude und Vertrauen in das eigene Können geprägte Hormonlage die Weiterleitung von Impulsen und damit auch die Gedächtnisbildung. Der eigene Körper, das Anfassen und die körperliche Bewegung helfen dabei, die negative Abwehrhaltung einem neuen, fremden Lerninhalt gegenüber zu überwinden. Die dadurch erzeugten positiven Begleitinformationen schaffen eine günstigere Hormonlage und erleichtern das Einprägen des Lerninhalts. Vester vermutet auch, dass die angenehmen Begleitinformationen den Organismus auch beim Erinnern wieder in eine positive Hormonlage bringen und dadurch das Wiedererinnern erleichtern.

Parreren nennt als wichtige Bedingung für die Aktualisierung eines Lerninhalts die Integration in den persönlichen Kenntnisbesitz, d.h. das Verknüpfen mit bereits bestehenden Gedächtnisinhalten. Er hält die innere Teilnahme des Schülers für wichtig, um eine Integration des Gelernten in die Persönlichkeit des Schülers zu erreichen (Möller 1987, S. 180 ff.).

Diese innere Anteilnahme sieht Möller (1987, S. 181) im handelnden Lernen auch durch die körperlich-geistige Aneignung des Lerninhalts erreicht: Das, was gedanklich erarbeitet wird, kann im Handeln wahrgenommen, empfunden, beobachtet und erfahren und so mit dem "Ich" des Lernenden verbunden werden.

Bewegungen werden über einen noch unbekanntem Mechanismus gespeichert, an dem das verbale Kurzzeitgedächtnis nicht beteiligt ist. Dieses Bewegungsgedächtnis dient der Speicherung von Bewegungsabläufen, die sprachlich nicht kodiert werden können. Es ist auf allen Stufen der Erkenntnis ein elementarer Mechanismus der Gedächtnisbildung, auch wenn es mit zunehmender Beherrschung des Vokabulars an Bedeutung verliert. (Möller 1987, S. 174 ff.) Da handlungsorientiertes Lernen das Bewegungsgedächtnis nutzt, bietet es für Schüler mit sprachlichen Problemen sowie bei der Aneignung von Fachsprache auch noch in der Oberstufe eine wertvolle Lernhilfe.

Piaget hat seine Arbeiten vor allem der kindlichen Entwicklung gewidmet. Handlung und materiale Erfahrung sind jedoch auch darüber hinaus ein notwendiges Instrument des Erkennens, denn der Ursprung aller Erfahrung liegt in der Handlung: "Diese Handlungen aber, die den Ausgangspunkt der speziellen Kenntnisse darstellen, können auf keiner Stufe der Entwicklung des Wissens eliminiert werden..." (Piaget zit. in: Möller 1987, S. 197).

Der Denkprozess entwickelt sich nach Piaget über das sensomotorische Handeln zur inneren Vorstellung der Handlung zum sprachlichen Begreifen. Je nach Vorerfahrung der Schüler und Komplexität des Problems muss der Lehrer entscheiden, auf welcher Ebene die Auseinandersetzung mit dem Problem beginnen muss (Möller 1987, S. 193). So beschränkt sich die sensomotorische Auseinandersetzung nicht auf das Kleinkindalter. Selbst der Erwachsene

greift noch auf sensomotorisches Handeln zurück: Wenn seine Handlungen Wirkungen zeigen, die er nicht versteht, so wiederholt er diese Handlungen, um sie zu begreifen.

Vorstellungsbilder unterstützen das Denken, da sie "genaue Repräsentationen der Welt" verfügbar machen und dadurch das Herstellen von gedanklichen Beziehungen zwischen den repräsentierten Gegenständen erleichtern (Möller 1987, S. 190).

Die "praktische Intelligenz", d.h. die Anwendung von Erkenntnissen, ist die Voraussetzung für das begriffliche Denken. Sie ist nach Piaget "die erste Stufe des Erkennens selbst und die notwendige Bedingung für jedes spätere fundierte Wissen" (Piaget zit. in Möller 1987, S. 199).

Noch im Schulalter existiert für Piaget die praktische Intelligenz als "Substruktur für die begriffliche Intelligenz". Die letztere besteht zu einem "Gutteil in einer Bewusstwerdung der praktischen Ergebnisse". Handlung ist für Piaget Ausgangspunkt zum logischen Denken. Handlung fördert auch die Entwicklung des Selbstbewusstseins durch Assimilation und Akkomodation, also das Erfahren eigener Möglichkeiten und Grenzen (Möller 1987, S. 199 ff.).

Die Übersetzung von Wahrnehmungen und Handlungen in Begrifflichkeit dient der Absicherung von Handlungsergebnissen und einem schnelleren und leichteren Umgang mit den Elementen und Beziehungen. Sie ist Voraussetzung für weitere Verknüpfungen und Strukturbildungen, da die Handlung wiederum durch das Denken strukturiert wird. Der Handlungsplan wird im Denken aufgebaut und in die Praxis umgesetzt oder beides löst sich alternierend ab. Wechselbeziehungen zwischen Handeln, Vorstellungsbildern und Worten in jede Richtung fördern nach Aebli die Koordination der Handlungs- und Denkstrukturen und somit die Entwicklung (Wimmel-Steger 1986, S. 161 ff.).

Aus pädagogischer Sicht ist noch zu ergänzen, dass Schule ihren Auftrag, die Schüler zu kompetenten, selbständigen und eigenverantwortlich handelnden Mitgliedern der Gesellschaft zu erziehen, wohl nur mittels handlungsorientierten Unterrichts erfüllen kann. In einem solchen Unterricht wird das Handeln und der handelnde Zugang zur Lebenswirklichkeit geübt, werden die Schüler nicht durch Vorgaben des Lehrers am Selbständigsein gehindert (Meyer 1994, S. 409, Vaupel 1997, S. 12).

Durch eine geordnete und verpackte, aber auch diffuse und komplexe Welt, die eine anschauliche Rückführung der Wirkungen auf ihre Ursachen verhindert und deren Orientierungsangebot maßlos und überfordernd ist, entstehen Erfahrungsdefizite. Objekte, Erscheinungen, Bilder und Sprache stehen nebeneinander und das Kind bzw. der Jugendliche steht vor der Aufgabe, Beziehungen dazu selbst aufzunehmen, bzw. herstellen zu müssen. Es entsteht ein Handlungsbedarf, der durch Schule und Unterricht abgedeckt werden muss, um ein Verstehen und Orientierung zu ermöglichen und ein bloßes Umgehen mit leeren Worten und Gegenständen zu vermeiden (Jank 1997, S. 344; Wimmel-Steger 1986, S. 109 ff.).

Aus diesem pädagogischen Blickwinkel heraus bietet sich insbesondere die Papierherstellung als Gegenstand eines handlungsorientierten Unterrichts an, da die industriellen Herstellungsschritte in ihrer Abfolge dem handwerklichen Prozess gleichen und daher durch das eigene Papierschöpfen nachvollzogen werden können. Handlungsprozess und kognitiver Inhalt bilden hierbei eine lern- und gedächtniswirksame Einheit. Des Weiteren können die Zellstoffherstellung, das Bleichen, Aspekte der Papierveredelung, die Altpapierherstellung und das Denken mit den gleichen Vorzügen handelnd erarbeitet werden.

Chemie ist ein Schulfach, in dem die Schüleraktivität traditionell gegeben ist, sofern Schülerversuche durchgeführt werden. Die Papierherstellung bietet sich dennoch in besonderer Weise an, da hier im Mittelpunkt des Unterrichts ein von den Schülern selbst hergestellter Gebrauchsgegenstand, nämlich das Papier, steht. Ein kaum beachteter, aber viel benutzter Alltagsgegenstand wird in das Bewusstsein der Schüler gehoben, von ihnen selbst hergestellt und auf seine Verwendbarkeit geprüft. Durch das Anknüpfen an die Alltagswelt der Schüler und den persönlichen Bezug zu dem selbst geschöpften Papier ist eine hohe Motivation und starke innere Anteilnahme der Schüler zu erwarten. Auf dieser Basis ist es möglich, im Bereich der Umwelterziehung eine Verhaltensänderung in Richtung Papier sparen, Altpapier sammeln und

Umweltpapier-verwendung herbeizuführen.

Den oben beschriebenen Merkmalen eines handlungsorientierten Unterrichts - Öffnung des Unterrichts, Ganzheitlichkeit, Ausgewogenheit von Kopf- und Handarbeit - kann durch folgende Aspekte voll entsprochen werden: Vielfältige mögliche Bezüge zu anderen Fächern wie Biologie (Umwelterziehung/Ökosystem Wald/Umweltbelastung durch Schadstoffe), Deutsch und Kunst (Verwendung des Papiers), Geschichte (der Papierherstellung und -verwendung mit ihren kulturellen und wirtschaftlichen Auswirkungen) sowie Physik (Papiermaschinen), die Inanspruchnahme verschiedener Sinne des handelnden Schülers und durch eine ausgewogene Mischung von Theorie und Praxis.

Ein Unterricht, der es mit dem Anknüpfen an Schülerinteressen und der Schüleraktivität ernst meint, ist gewissen Risiken ausgesetzt. Schülerinteressen und -fragen können einen anderen Weg einschlagen, als den vom Lehrer vorgedachten. Hier bietet das Thema Papier den Vorteil, besonders für in puncto Handlungsorientierung ungeübte Lehrer, dass die Schülerfragen und -anregungen in der Regel in einem vorhersehbaren Rahmen bleiben, der durch die im Folgenden dargestellte Planung im Wesentlichen abgedeckt wird.

III. Planung der Unterrichtsreihe

1. Sachanalyse

Papier ist nach der DIN-Norm 6730 (August 1985) ein flächiger, im Wesentlichen aus Fasern pflanzlicher Herkunft bestehender Werkstoff, der durch Entwässerung einer

Faserstoffaufschwämmung auf einem Sieb gebildet wird. Dabei entsteht ein Faserfilz, der verdichtet und getrocknet wird. Das Flächengewicht beträgt bei Papier im allgemeinen bis zu 225 g/m^2 . Bei Flächengewichten über 225 g/m^2 spricht man von Pappe. Der Begriff Karton (mit Flächengewichten von 150 bis 600 g/m^2) umfasst sowohl Papier- als auch Pappe-Sorten (Falbe/Regitz 1995, S. 3208).

Verschiedene Papiersorten:

In Deutschland werden etwa 3000 verschiedene Papiersorten angeboten (Falbe/Regnitz 1995, S.3210), die üblicherweise in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Graphische Papiere:

Druck- & Pressepapiere, Büro- & Administrationspapiere,

- Papier, Kartons und Pappe für Verpackungszwecke:

Faltschachtelkartons, Packpapier, Geschenkpapier, Pergament, Wellpappe usw.,

- Hygienepapiere:

Zellstoffwatte, Tissue- und Krepppapier (Toilettenpapier, Einmalhandtücher und -servietten etc.)

- Papiere und Pappen für technische und spezielle Verwendungszwecke:

z.B.: Dekor- und Grundierfolien, Papiere für Elektrotechnik, Foto-, Zigaretten- und Filterpapiere, Spezialpappen für verschiedene Industriezweige.

Stoffkomponenten der Papierherstellung

Zur Herstellung von Papieren werden vor allem Holzfasern und Altpapier verwendet. In geringem Umfang finden auch jährlich nachwachsende Einjahrespflanzen (z.B. Stroh, Bambus), Lumpenfasern (Hadern) sowie synthetische, tierische und mineralische Faserstoffe Verwendung. Die Einjahrespflanzen werden chemisch wie Holzzellstoff aufgeschlossen.

Fasern aus Lumpen (Baumwolle, Leinen, Hanf) werden wegen ihres hohen Preises nur für Banknoten- und Dokumentenpapier verwendet. Die außergewöhnlich langen Fasern ergeben ein hochwertiges und dauerhaftes Papier. Von tierischen Fasern findet Wolle in einigen Spezialpapieren (z.B. Löschpapier, Kalenderwalzenpapier) Verwendung. Spezialpapiere mit hoher Wärmebeständigkeit enthalten mineralische Faserstoffe, z.B. Glasfasern.

Bei der Papierfabrikation werden neben Wasser und Faserstoffen auch chemische Hilfsmittel, Füllstoffe und Pigmente eingesetzt. Der Gewichtsanteil an Faserstoffen im Papier beträgt in Abhängigkeit der Papiersorte zwischen 60 und 96%, der des Wassers etwa 5 bis 10%, während Füllstoffe mit maximal 35% zu Buche schlagen. Die Cellulose der pflanzlichen Faserstoffe bilden mit den im Papier vorhandenen Wassermolekülen Wasserstoffbrücken aus, wodurch die Festigkeit des Papiers gewährleistet wird.

Aufbau und Eigenschaften der Cellulose:

Die Cellulose ist sowohl von der Menge als auch von der Verbreitung her das häufigste und wichtigste Biopolymer in der Natur. Cellulose ist ein wasserunlösliches Polysaccharid der formalen Bruttozusammensetzung $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$. Genauer ist die Cellulose ein isotaktisches β -1,4-Polyacetal der Cellubiose, wobei die Cellubiose aus zwei Molekülen Glucose besteht (siehe Abbildung 1). Je nach Länge der Cellulosefasern sind 500 bis 5000 Glucose-Einheiten kettenförmig und unverzweigt miteinander verknüpft. Die freie Drehbarkeit der glykosidischen Bindung wird durch intramolekulare Wasserstoff-Brücken zwischen den 3-Hydroxy-Gruppen und den Ringsauerstoff-Atomen benachbarter Glucose-Reste verhindert, wodurch insgesamt die lineare Versteifung des Makromoleküls herrührt. Den Zusammenhalt der Cellulosefasern im Papier bewirken ebensolche Wasserstoffbrücken (siehe auch Unterricht Chemie, S.17&18).

Die Cellulose unterscheidet sich durch ihre β -Konfiguration von der Stärke und dem Glykogen, die α -glykosidische Polysaccharide darstellen.

Reine Cellulose färbt Chlorzinkiod-Lösung violett, sofern geringere Teile vorhanden sind, blau bis schwarz. Diese Chemikalie ist daher zum Nachweis von Cellulose geeignet.

Herstellung der wichtigsten Faserstoffe:

Holz ist der wichtigste Primärrohstoff für die Papierherstellung. Nach den Gewinnungsmethoden

unterscheidet man Holzstoff (mechanisch aufbereitet) und Zellstoff (chemisch aufbereitet). Holzstoff wird durch mechanische Zerfaserung von entrindeten Holzprügeln an rotierenden Schleifsteinen oder zwischen zwei rotierenden Refinerplatten aus Metall gewonnen. Jedoch enthält Holzschliff alle Holzbestandteile, einschließlich des Lignins (Weißgradsenkung) und ist infolge seiner Kurzfasrigkeit nicht sehr gut verfilzbar. Infolgedessen findet Holzschliff nur mit Zellstoff gemischt oder für Packpapiere und Pappen Verwendung.

Zellstoffherstellung:

Der in Deutschland zur Papierherstellung verwendete Zellstoff wird praktisch ausschließlich aus Holz gewonnen. Holz enthält etwa 40-60% Wasser, getrocknetes Holz besteht zu 10-20% aus Wasser, 40-50% Cellulose und 20-25% Lignin.

Das Lignin ist ein hochpolymerer, aromatischer Stoff, der aus substituierten Phenylpropaneinheiten aufgebaut ist (siehe Abbildung 2).

Lignin stellt den eigentlichen Stützbaustoff der verholzten Pflanzenteile dar. Zur Gewinnung des Zellstoffs aus Holz müssen Aufschlussverfahren angewendet werden, um Lignin und Polyosen (Erläuterung siehe unten) von der Cellulose abzutrennen. Die Entfernung des Lignins ist für die Herstellung eines qualitativ hochwertigen und weißen Papiers notwendig, denn das Lignin verursacht eine unerwünschte Weißgradsenkung des Papiers durch Vergilben. Für dieses Vergilben oder Braunfärben des Papiers ist eine Reaktion des Lignins mit dem Luftsauerstoff verantwortlich, wobei der Einfluss des Lichts auf die Vergilbung noch unklar ist. Dieser Vorgang ist an ungebleichtem Zellstoffpapier noch erkennbar, da nach dem Zellstoffaufschluss noch Reste an Lignin verbleiben, die erst beim Bleichen oxidativ zerstört werden. Lignin kann qualitativ durch eine Rot- bis Violettfärbung des untersuchten Stoffes mit Wiesner's Reagenz nachgewiesen werden (Herstellung des Nachweisstoffes siehe Unterricht Chemie, S.21).

Polyosen sind eine Gruppe von Polysacchariden mit unterschiedlicher Zusammensetzung, die in Pflanzenfasern und Zellwänden verschiedener Pflanzen vorkommen. Sie werden auch heute noch bevorzugt als Hemicellulosen bezeichnet.

Die Polyosen sind, wie Cellulose, aus glykosidisch verknüpften Zuckereinheiten aufgebaut. Ihr Polymerisationsgrad ist jedoch niedriger als bei der Cellulose und die Ketten sind mehr oder weniger stark verzweigt.

Aufgrund ihrer verzweigten Struktur sind die Polyosen, im Gegensatz zur kristallinen Cellulose, amorph und z.T. in Wasser löslich. Ihr Wert bei der Papierherstellung ist daher gering.

Bei den chemischen Aufschlussverfahren unterscheidet man zwischen dem Sulfit- und Sulfat-Verfahren. Daneben sind Verfahren unter Verwendung von Natronlauge oder Salpetersäure nur von örtlicher Bedeutung und werden hier nicht weiter besprochen.

Bei allen Verfahren des Zellstoffaufschlusses geht es darum, Lignin in eine lösliche Form zu überführen, die dann aus der Fasersuspension herausgelöst werden kann.

1. Sulfit-Zellstoff:

Bei diesem Verfahren, das in Deutschland am häufigsten angewendet wird, wird das entrindete, maschinell in Schnitzel von 1-4cm zerkleinerte Holz in stehenden, mit säurefesten Steinen ausgekleideten Druckkochern mit überschüssiges Schwefeldioxid enthaltender Calciumhydrogensulfit-Lauge 7-15 Stunden bei 5-7 bar auf 140-150°C erhitzt. Hierbei wird das Lignin sulfoniert und so in die wasserlösliche und damit leicht entfernbare Ligninsulfonsäure überführt.

Als Nebenreaktion tritt ein hydrolytischer Abbau der Cellulose auf, so dass sich die Ketten- und somit die Faserlänge der Cellulose verringert.

Bei dem Kochvorgang erweichen die Holzstückchen soweit, dass sie leicht zerdrückt werden können. Sie werden maschinell zu 2-4mm langen, feinen Zellstofffasern zerkleinert, mehrfach gewaschen und anschließend getrocknet in dicke Pappen gepresst.

Zur Herstellung von 1000kg Sulfit-Zellstoff braucht man etwa 7m³ (=5 Festmeter) Holz, 90 kg Schwefel, 500kg Kohle und 200kWh. Pro Kubikmeter Holz werden rund 1400l Ca(HSO₃)₂-Lauge benötigt.

2. Sulfat-Zellstoff:

Es wird zerkleinertes Holz in senkrechten Druckkesseln mit alkalischen Laugen, die beispielsweise 60g NaOH, 22g Na₂S, 15g Na₂CO₃ und 4g Na₂SO₄ je Liter enthalten, 3-6 Stunden lang bei 7-10bar auf 150-180° C erhitzt. Hierbei geht Lignin in schwarzes, lösliches Alkali-Lignin über, das auf Zellenfiltern vom zurückbleibenden Zellstoff abgepresst wird.

Die beim Kochen und Eindampfen der Laugen entwickelten, übelriechenden Thiole können beseitigt und die Rückstände z.T. zu Düngemitteln verarbeitet werden. Günstig ist zudem, dass sich hier mit geringem Schwefel-Aufwand aus harzreichen und minderwertigen Hölzern, die im Sulfit-Verfahren nicht aufgeschlossen werden können, ein Zellstoff mit guten papiertechnischen Eigenschaften herstellen lässt. Daher wird dieses Verfahren außerhalb dicht besiedelter Räume (Geruchsbelästigung) vorwiegend angewendet.

Bleichen von Zellstoff:

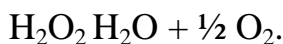
Das Bleichen des Zellstoffs ist zur Gewinnung hochweißen Faserstoffs notwendig, um die im Zellstoffbrei nach dem chemischen Aufschluss der Cellulose noch vorhandenen Reste an Lignin oxidativ zu zerstören.

Für das Bleichen des Cellulosebreis können verschiedene Verfahren verwendet werden:

- Sauerstoffbleichung durch Natriumperborat, Wasserstoffperoxid oder Ozon,
- Chlorbleiche durch Natriumchlorit und Natriumhypochlorit.

Hierbei wird entweder durch freigesetztes aktives Chlor oder aktiven Sauerstoff die bleichende Wirkung erreicht. Chlorite werden gerne zum Bleichen verwendet, da das beim Ansäuern freiwerdende ClO₂ faserschonend bleicht.

Beispiel: Natriumperborat setzt in wässriger Lösung Wasserstoffperoxid frei, das schon bei recht geringen Temperaturen aktiven Sauerstoff freisetzt, der stark oxidierend wirkt:



Zur Entfernung des Lignins durch Oxidation werden zur Zeit verschiedene katalytische Verfahren entwickelt und erprobt, die einerseits die Abwässer weniger belasten und einen geringeren Verlust an Zellstoff beinhalten. Diese Verfahren befinden sich jedoch noch nicht in der industriellen Großanwendung.

Altpapier:

Die in Deutschland mengenmäßig wichtigste Faserquelle ist der Sekundärrohstoff Altpapier. Seine Wiederverwertbarkeit ist auf fünf bis sechs Recyclingvorgänge beschränkt, da die Fasern bei jeder Aufbereitung verkürzt werden.

Zunächst wird das Altpapier im Pulper in Wasser dispergiert und von Verunreinigungen (z.B. Kunststoffen, Glas, Holz, Metallen von Heftungen, produktionsschädlichen bzw. wasserfesten Papieren, wie z.B. Pergamentpapier, Kohlepapier) befreit. Anschließend ist eine Feinsortierung erforderlich, da die Fasern von schon vormals wiederverwertetem Altpapier kürzer als die des "neuen" Papiers sind. Nicht mehr recyclingfähige Fasern werden aussortiert und deponiert oder thermisch/energetisch verwertet.

Der Erhöhung des Weißheitsgrades des Papiers dient die nicht zwingend notwendige Entfernung der Druckfarben, das Deinking. In Deutschland wird in der Regel das Flotationsverfahren angewendet, bei dem eine Reihe von Chemikalien (im Schülerversuch Nonan oder Dekan zum Lösen der Druckfarben und Waschmittel) eine Abtrennung der konglomerierenden Druckfarbenteilchen von den Fasern bewirkt. Durch Einwirbeln von Luft entstehen Luftbläschen, die mit den Fremdstoffen als Schaum zur Suspensionsoberfläche drängen und von dort abgeführt werden. Hierbei können im Schnitt etwa zwei Drittel der Druckfarbe entfernt werden.

Ein Problem stellt die Abwasserbelastung durch Deinking-Chemikalien dar. Eine Alternative ist das 1970 von E. Bonda entwickelte Verfahren der Umwelt-papierherstellung, bei dem die Druckfarben mechanisch so verteilt werden, dass ein gleichmäßig hellgraues Papier entsteht. In einem geschlossenen Kreislauf werden nur 1,8 l Wasser/kg Papier verbraucht, ohne

Gewässerbelastung und Schlammanfall.

Füllstoffzusatz:

Füllstoffe werden zur Verbesserung der Bedruckbarkeitseigenschaften des Papier, wie Oberflächenglätte, Porösität, Opazität (Durchscheinen), Weißgrad und Farbe sowie in begrenztem Umfang zur Substitution der teureren Faserstoffe verwendet. Sie beeinträchtigen aber die Papierfestigkeit, weshalb ihr Einsatz auf maximal 35% Gewichtsanteil am Papier begrenzt ist. Füllstoffe werden der Fasersuspension vor der Blattbildung zugesetzt, als Pigmente dagegen direkt auf die Blattoberfläche gestrichen.

Übersicht über einige Füllstoffe und deren Wirkung:

Füllstoff/Pigment	Effekt
Calciumcarbonat (Kreide)	Verbessert Weißgrad, Glanz, Glätte und Farbannahme
Talkum	Verhindert Störungen durch Harz aus Holz- und Zellstoffen, verbessert Glanz und Glätte
Gips	Hoher Weißgrad, verbessert die Griffbarkeit
Titandioxid	Sehr hoher Weißgrad, Erhöhung der Opazität

Chemische Hilfsstoffe und Leimungsmittel:

Diese werden zur positiven Beeinflussung der physikalischen Eigenschaften des Papier sowie für einen reibungslosen Ablauf des Produktionsprozesses (auch bei der Faserstoffherstellung) eingesetzt. Ihr Mengenanteil am Papier schwankt zwischen ein und vier Prozent. Einige der verwendeten Chemikalien erfüllen mehrere Aufgaben gleichzeitig. Diese Hilfsstoffe müssen sich im fertigen Produkt neutral verhalten, sollen biologisch abbaubar sein und die Gewässergüte nicht beeinträchtigen.

Mittel zur Verbesserung der Papierqualität:

Chemisches Hilfsmittel	Wirkung	Anwendung
<i>Mittel zur Verbesserung der Papierqualität:</i>		
- Stärke	erhöht die Festigkeit des Papiers, Bindemittel	Auftrag durch Leimpresse nach der Blattbildung
- Polymerdispersionen (früher tierischer Leim)	Hydrophobierung der Oberfläche, damit Tinte u.ä. nicht verläuft	Oberflächenleimung in der Leimpresse
<i>Zur Optimierung der Papierherstellung:</i>		
- Retentionsmittel (Aluminiumsalze, synthetische kationische Stoffe, Natronwasserglas)	Schnelle und möglichst vollständige Abtrennung von Fasern/Füllstoffen vom Wasser, spart Rohstoffe und verringert die Abwasserbelastung	Zugabe zur Fasersuspension, wirkt bei der Entwässerung auf dem Papiersieb

Wasser:

Das Wasser hat verschiedene Aufgaben zu erfüllen:

- Rohstoffaufschluss,
- die Verbindung der Fasern zum Papiervlies durch Wasserstoffbrückenbindungen,
- Stoffaufbereitung und –mischung,
- Transportmittel für das Fasermaterial,
- als Wasserdampf für die Trockenzyylinder der Papiermaschine.

Papierherstellung:

1. Stoffaufbereitung:

Vor der Herstellung der Papierbahnen auf der Papiermaschine müssen die Faserstoffe (Zellstoff, Altpapier, Holzschliff) aufbereitet werden.

Zellstoff gelangt überwiegend in getrockneter Form (Ballen oder Platten) in die Papierfabrik, wo es im Pulper (Stoffauflöser) in Wasser zu einem pumpfähigen Brei suspendiert wird. Anschließend durchläuft die Faserstoff-Suspension (aus Zellstoff, Altpapierfasern oder Holzschliff) verschiedene Stationen der Reinigung, des Mahlens (Fibrillieren und ggf. Kürzen der Fasern auf die erforderliche Länge), um die Fasern auf die gewünschten Festigkeitseigenschaften des Papiers einzustellen. Der so entstandene Halbstoff wird der Stoffzentrale zugeleitet, wo er in der "Mischbütte" (evtl. unter Zugabe von Füllstoffen und chemischen Hilfsmitteln) rezepturgerecht für die entsprechende Papiersorte zum sogenannten Ganzstoff gemischt wird. Dieser besteht im Allgemeinen aus etwa 4% Feststoff und 96% Wasser und wird je nach Papiersorte und -eigenschaften vor der Papiermaschine entsprechend mit Wasser, in der Regel auf weniger als 0,5% Feststoffgehalt, verdünnt.

2. Papierherstellung:

Prinzipiell wird Papier heute noch mit den Verfahrensschritten der handwerklichen Papierherstellung- *Schöpfen, Pressen, Trocknen, Leimen* und *Glätten* erzeugt (siehe auch Abbildung 6).

Das Grundprinzip der Papierherstellung ist bei allen Papier- und Pappesorten bis auf wenige Details an den Papiermaschinen gleich. Bei der Papierbahnbildung wird durch Abfiltrieren des Wassers aus einer Fasersuspension auf einem umlaufenden Sieb eine nasse Bahn erzeugt, die eine möglichst gleichförmige Massenverteilung aufweisen soll (= **Schöpfen**). Die Entwässerung wird durch Saugwalzen unterstützt. In der Pressenpartie wird die nasse Bahn durch mechanischen Druck zwischen Walzen und umlaufenden Filztüchern komprimiert und so weit wie möglich –auf Trockengehalte von 55% und mehr- entwässert (= **Pressen**).

In der Trockenpartie wird das restliche Wasser mittels dampfbeheizter Zylinder bis auf eine geringe Restfeuchte verdunstet. Hiernach liegt der Trockengehalt bei etwa 90-98% (= **Trocknen**).

Mit der Leimpresse werden, sofern für die Papiersorte erforderlich, Stärke, Leimungsmittel oder Pigmente aufgetragen (= **Leimen**). Das hierbei aufgetragene Wasser wird in einer Nachtrockenpartie verdunstet.

Schließlich wird die Papierbahnoberfläche im Glättwerk durch das Hindurchführen zwischen Presswalzen mittels Druck und Temperatur eingeebnet und die Bahndicke kalibriert (= **Glätten**).

3. Veredelung des Papiers:

Das nicht weiter behandelte Maschinenpapier (Naturpapier) ist für viele Druckverfahren und zum Beschreiben mit Tinte wegen seiner porösen Oberfläche schlecht oder gar nicht geeignet, was z.B. am Verlaufen der Tinte eines Füllhalters gut zu erkennen ist. Aus diesem Grunde müssen graphische Papiere, im Gegensatz zu den saugfähigen Hygienepapieren, wie Taschentücher und Toilettenpapier, veredelt werden.

Wurden Füllstoffe nicht schon in der Stoffzentrale beigemischt, so können sie jetzt als Pigmente aufgestrichen werden. Die Streichschicht besteht aus mineralischen Pigmenten, Bindemitteln und speziellen Hilfsmitteln. In der Regel werden Pigmentgemische je nach gewünschten Papiereigenschaften verwendet (siehe Tabelle). Das Papier verlässt die Papiermaschine maschinenglatt. Wird eine höhere Glätte und Glanz erfordert, so wird das Papier im separaten Satinier- oder Superkalander satiniert, d.h., die Papieroberfläche wird thermomechanisch umgeformt. Durch Streichen und/oder Satinieren entsteht eine geschlossene, gut bedruckbare Papieroberfläche.

4. Umweltbelastung durch die Papierherstellung:

Durch die Papierproduktion entsteht ein enormer Bedarf an Holz. Die deutsche Zellstoffindustrie deckt ihren Bedarf zwar mit Schwach- und Durchforstungsholz, jedoch werden aus Kostengründen große Mengen Zellstoff z.B. aus Schweden und Kanada importiert, wo das Holz zum großen Teil aus Kahlschlägen in den borealen Nadelwäldern stammt.

Bei der Papier- und Zellstoffherstellung wird die Umwelt erheblich durch den enormen Wasserverbrauch und giftige Abwässer belastet.

Der Wasserverbrauch und die Abwasserbelastung, bezogen auf die Papiereinheit, wurde durch die interne Wasseraufbereitung und –wiederverwendung erheblich verringert.

Des Weiteren sind für die Zellstoffherstellung und die Trocknung der Papierbahn enorme Mengen an Energie notwendig, die jedoch durch Wärmerückgewinnung und Kraft-Wärme-Kopplung ebenfalls reduziert werden konnten.

Die Zellstoff- und Papierindustrien lassen ihre Leistungen für die Reduzierung des Wasser- und Energieverbrauchs und der Chemikalienrückgewinnung gerne herausstellen (Götsching 1990, IUP o.D.). Diese Leistungen dürfen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Einsparungen durch den enorm gestiegenen Papierverbrauch pro Kopf (1950: 32kg, 1990: 232kg) bei weitem aufgewogen werden.

Durch die stoffliche Verwertung von Altpapier werden Ressourcen geschont, Deponieraum eingespart und große Wassermengen beim Zellstoffaufschluss und bei der Faseraufbereitung gespart. Doch die Primärproduktion (Papier aus Zellstoff) ist Voraussetzung für den Recyclingprozess. Die Möglichkeiten der Verbrauchsreduktion, z.B. bei Werbebroschüren, Verpackungen und zahlreichen Einwegartikeln aus Papier, sind erheblich und nur dadurch kann die Gesamtbilanz nachhaltig beeinflusst werden.

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

2. Hinweise zur Durchführung der Unterrichtsreihe "Papier"

Zur Papierherstellung gibt es einen CVK-Koffer, der alle hierfür notwendigen Materialien, inklusive acht Schöpfsieben und Anleitungen, aber keinen Zellstoff und kein Altpapier, enthält. Die im Koffer enthaltenen Teile können alle einzeln nachbestellt werden. Dieser Koffer kostet jedoch etwa 480,-DM.

Da die darin enthaltenen Materialien z.T. in fast jedem Haushalt vorhanden bzw. preisgünstig zu kaufen sind, habe ich von dem Koffer abgesehen.

Für die Papierherstellung werden Plastikschrüssel, Nudelhölzer (Teigroller), Rührlöffel, Siebe,

dicke Baumwolltücher (z.B. Molton-tücher) oder Industriefilz, Küchenmixer, Mixbecher (etwa 1l Inhalt), alte Lappen und viele Zeitungen benötigt (siehe Abbildung 4).

Die Schöpfrahmen müssen, wenn man den Koffer nicht benutzt, selbst gebaut werden. Das kann von den Schülern übernommen werden und hat meinen Schülern sehr viel Freude bereitet (siehe Gesamtreflexion).

Insgesamt habe ich für die volle Ausstattung von sieben Schülergruppen inklusive aller Materialien zum Bau der Schöpfrahmen etwa 200,-DM ausgegeben, wobei insgesamt zwei Küchenmixer und vier Nudelhölzer zur Verfügung standen, so dass die Schüler sich hiermit abwechseln mussten. Dies ist aber auch bei Verwendung der CVK-Box notwendig, da hierin nur ein Küchenmixer und zwei Holzwalzen enthalten sind.

Den in dieser Unterrichtsreihe verwendeten Zellstoff (gebleicht und ungebleicht), es wurden drei Zellstoffbogen im Format DIN A3 verbraucht, habe ich auf Anfrage kostenlos von der Firma Melitta erhalten (Adresse: Melitta Papierfabrik GmbH & Co KG, Woermannkehre 2, 12359 Berlin), die mir auch eine Betriebsbesichtigung und die Anfertigung von Fotos zur Demonstration im Unterricht ermöglichte. Leider wird diese Möglichkeit in Zukunft wohl nicht mehr zur Verfügung stehen, da die Fabrik an den Stammsitz der Firma Melitta nach Minden umziehen wird. Jedoch sind die Schritte zur Papierherstellung und Veredelung auch an Recyclingpapier sehr gut darzustellen und es dürfte sicher möglich sein, zumindest gegen Erstattung der Portokosten, von anderen Papierfabriken in Deutschland Zellstoff zu erhalten. Im Labormaßstab selbst Zellstoff herzustellen, ist unpraktikabel, da die für Schülerversuche erforderlichen Mengen nur mit extrem großem Aufwand herzustellen sind.

Alle Versuche dieser Unterrichtsreihe sind sehr gut als Schülerversuch durchführbar, auch der Versuch zur Herstellung von Zellstoff nach dem Acetosolv-Verfahren. Bei diesem muss jedoch wegen der starken Säure sehr vorsichtig gearbeitet werden, zumal die Säure stark erhitzt wird. Eine Verätzung der Atemwege bei unsachgemäßer Bedienung kann nicht ausgeschlossen werden. Zudem ist die Versuchsdauer sehr lang (etwa 40min) und die Materialien (Kühler, Heizplatte mit Rührer) nicht immer in ausreichender Stückzahl vorhanden. Beobachtungen sind während des Versuches in der "braunen Brühe" praktisch auch nicht machbar. Die Durchführung im Schülerversuch hätte jedoch den Vorteil, dass ausreichend Zellstoff hergestellt würde, um hinterher ein oder mehrere Papiere daraus zu schöpfen. An meiner Schule waren nicht genug Heizplatten und Kühler vorhanden, so dass ich den Versuch als Demonstrationsversuch durchgeführt habe. Die lange Versuchsdauer, die durch das Vorheizen der Lösungen verkürzt werden kann, ermöglicht die parallele Bearbeitung der Theorie des Zellstoffaufschlusses.

Nach meinen Versuchen eignet sich Nadelholz nicht besonders gut für diesen Zellstoffaufschluss, obwohl er, laut Literatur (Unterricht Chemie), für die Aufbereitung von Fichtenholz geeignet sein soll. Die besten Resultate habe ich mit feinen Buchenholzspänen erzielt. Diese habe ich aus dünnen, im Baumarkt erhältlichen Rundhölzern durch Zerschneiden mit einer Astschere rasch selbst hergestellt. Die Schüler waren von der Umsetzung des ihnen als besonders hart bekannten Buchenholzes in den weichen Zellstoff besonders fasziniert.

Für den Versuch "Bleichen der Cellulose" ist 30%ige Wasserstoffperoxidlösung notwendig. Diese sollte frisch aus der Apotheke geholt werden. Beim Mitbringen einer geeigneten, braunen und dicht schließenden Glasflasche ist mit Kosten von etwa 3,-DM für 100ml zu rechnen.

Bei dem Versuch zum Deinken des Altpapiers habe ich mit farbigem Prospektpapier gearbeitet, da hier der Effekt der Entfärbung besonders eindrucksvoll zu Tage tritt.

Auf keinen Fall darf man die Zugabe von Waschmittel vergessen, da sonst die Schaumbildung nicht auftritt. In Vorversuchen habe ich das Deinken, abweichend von den Angaben der UNI-Bielefeld, ohne Hexan und nur mit Waschmittel, allerdings unter leichtem Erhitzen, durchgeführt. Hierbei bin ich zu ähnlich guten Resultaten gekommen. Der Vorteil ist, dass man den abgeschöpften Schaum, bei Schülerversuchen immerhin recht große Mengen, nicht als Lösungsmittelabfall entsorgen muss.

Den Bau der Schöpfrahmen haben die Schüler der 11.Klasse ganz hervorragend selbst

durchgeführt. Ein Kunstlehrer stellte mir hierfür eine Doppelstunde zur Verfügung. Nach einer kurzen Erläuterung und der Ausgabe der Anleitungen (siehe Abbildung 5) erstellten die Schüler sieben Schöpfrahmen in voller Eigenarbeit mit nur leichten Hilfestellungen und Erläuterungen. Die Kosten für den Bau der Schöpfrahmen sind übrigens sehr niedrig und liegen insgesamt bei etwa 7,- DM je kompletten Schöpfrahmen. Fichtenholzleisten und Fensterfliegengitter sind im Baumarkt erhältlich. Es lohnt sich, ein stabileres Fliegengitter, bei dem die übereinanderliegenden Fasern an den Kreuzungsstellen miteinander verschweißt sind, zu wählen. Diese Rahmen haben gegenüber denen aus dem CVK-Kasten, den Vorteil, dass sie sehr langlebig sind und bei nachlassender Siebspannung neu bespannt werden können. Eine Lackierung der Rahmen ist nicht notwendig, sofern die Rahmen trockengewischt und zum Trocknen luftig aufbewahrt werden. Der Filz kann mit einfachem Holzleim befestigt werden.

Vor der Durchführung der Unterrichtsreihe sollte reichlich Zeitungspapier gesammelt werden, da es einerseits zum Unterlegen beim Abgautschen und Pressen der Papiere notwendig ist, andererseits zur Herstellung von Papier aus Altpapier. Nur aus Zeitungspapier (keine Kataloge o.ä.) hergestelltes Papier erscheint überraschend hell und nur leicht gräulich (siehe Anhang).

Sehr wichtig zur Herstellung von Papier sind Wasser- und Stromanschlüsse an den Schülertischen, was in den üblichen Chemieräumen aber gegeben ist.

Eine weitere Möglichkeit, mit den Schülern das Schöpfen von Papier durchzuführen, gibt es im Technikmuseum. Hier kann unter fachkundiger Anleitung aus verschiedenen Rohstoffen (z.B. Cellulose, Hadern) Papier geschöpft werden. Zusätzlich kann eine Modellpapiermaschine betrachtet werden, an der alle Verfahrensschritte zu sehen sind. Leider ist mit Wartezeiten von bis zu 4 Monaten für die Vormittagstermine zu rechnen.

Stoffaufbereitung:

Etwa 20g Altpapier oder Zellstoff werden in kleinere Stücke (etwa Briefmarkengröße) zerrissen oder zerschnitten und im Mixbecher in Wasser eingeweicht. Zum Mixen sollte der 1l-Behälter nicht höher als bis etwa 750ml gefüllt werden, um ein zu starkes Verspritzen zu verhindern. Um im Unterricht Zeit zu sparen, kann dies vor dem Unterricht geschehen. Bei Verwendung von heißem Wasser können die Fasern nach etwa 5 Minuten mit dem Mixer bearbeitet werden. Mehr als 20g Zellstoff oder Altpapier sollten nicht auf einmal in das Mixgefäß gegeben werden, da sonst der Faserbrei zu dick wird und die Fasern im Mixbecher zu stark verklumpen.

Der Inhalt des Mixbechers wird in die Schüssel gegeben und unter Rühren mit dem Löffel 6 Liter kaltes Wasser hinzugegeben. Zwischen den Schöpfgängen sollte immer wieder umgerührt werden, um eine homogene Faserverteilung zu gewährleisten. Da die Papiere nach dem Schöpfen der ersten Blätter immer dünner werden, sollte nach 2 bis 3 Bogen neuer Faserbrei nachgegeben werden, um eine kontinuierlich gute Papierqualität zu gewährleisten. Aus 20g Zellstoff oder Altpapier lassen sich in der Regel höchstens 4 vernünftige Papiere schöpfen.

Für die Versuche mit den Füllstoffen im Papier eignet sich Gips gut. Gips ist preiswert und ungiftig und liefert in Kombination mit Natronwasserglas als Retentionsmittel recht gute Resultate.

Zur Trocknung der großen Mengen an Papieren eignet sich ein Wäschetrockner, wobei die Schüler hier ihre Papiere durch dazu gehängte Namensschilder gut auseinanderhalten können. Vorsicht, die Papiere nie durcheinanderbringen, denn die Schüler legen sehr viel Wert auf ihr eigenes Papier! Viele Gruppenmitglieder haben selbst das einzelne Papier innerhalb ihrer Gruppe als *ihr* Papier markiert. Ein Wäschetrockner lässt sich im Labor bzw. im Vorbereitungsraum leicht verschieben, so dass er, da er bis zum nächsten Tag stehen muss, aus dem Weg gestellt werden kann. Die Glättung des Papiers kann nach der Trocknung der Papiere sehr gut mit einem heißen Bügeleisen durchgeführt werden.

Für die Papierleimung kann Speisegelatine verwendet werden, jedoch ist es nicht ganz einfach, hiermit eine gleichmäßige Schicht auf dem Papier zu erreichen. Sehr einfach gestaltet sich die Oberflächenleimung mit Dialkyldiketenen. Diese habe ich von der Firma BASF unter folgender Adresse kostenlos erhalten: BASF AG, 67059 Ludwigshafen, Fax: 069-63308171 oder BASF

Frankfurt, Fax: 069-63308134 (Herr Hainz). Diese Lösung muss lediglich mit Wasser auf die gewünschte Verdünnung gebracht werden. Die Leimung der Papiere gelingt am leichtesten, wenn die Papiere auf das Gitter eines Schöpfrahmens aufgelegt, mit den Finger festgehalten, durch die Lösung gezogen und anschließend abgegautscht und zum Trocknen aufgehängt werden. Ohne Schöpfrahmen zerreißen die Bogen beim Leimen schnell. Ich habe die Schüler dabei Latexhandschuhe tragen lassen, obwohl dies laut Angaben von BASF nicht unbedingt notwendig ist. Die Wirkung unterschiedlicher Konzentrationen auf das Papier (z.B. ungeleimt, 0,25%, 1% (1ml auf 100ml Wasser), 3-5%) lassen sich durch Beschreiben des Papiers mit Tinte oder Aufbringen eines Wassertropfens aus einer Pipette sehr gut beobachten. Die optimale Leimungsmittelkonzentration liegt bei etwa 1%. Erst nach Trocknung über Nacht oder etwa 10 Minuten im Trockenschrank bei etwa 150°C ist die volle Wirkung der Leimungsmittel zu beobachten. Die Trocknung der selbst hergestellten Papiere dauert jedoch sowieso bis zum nächsten Tag. An Filterpapier lässt sich die Wirkung der Leimungsmittel auch sehr schön überprüfen.

Ich habe in dieser Unterrichtsreihe etwa einen dreiviertel Liter des Leimungsmittels verbraucht. Laut Angaben von BASF ist die Lösung etwa 1 Jahr haltbar, im Kühlschrank etwas länger. Aufgrund der geringen Haltbarkeit ist es nicht ratsam, mehr als zwei Liter zu bestellen.

Für den künstlerischen Bereich oder als Erweiterung vor den Ferien bietet die Papierherstellung viele Möglichkeiten. So ist natürlich die Einfärbung der Bütte mit Abtönfarben, Glitzer o.ä. möglich, ebenso die Herstellung von Wasserzeichen beliebiger Motive durch Einfädeln von dünnen Kupferdrähten in das Schöpfsieb oder das Einschöpfen getrockneter Gräser oder Blüten zwischen zwei Papiervliesen beim Abgautschen für Briefpapier. Für die Gestaltung oder Weiterverarbeitung der Papiere gibt es ebenfalls etliche Möglichkeiten: So ist die Erstellung von Urkunden, alten Briefen, die allgemeine Übung von Calligraphie möglich, da die selbstgeschöpften Papiere einen "Büttenpapiercharakter" aufweisen. Auf Schulfesten können die Papiere als Briefpapier verkauft oder das Papierschöpfen als Aktivität angeboten werden.

Für fächerübergreifende Projekte eignet sich die Einheit Papier in besonderem Maße, da die Thematik Papier in etliche Fächer eingearbeitet werden kann:

- Erdkunde: Einfluss anthropogener Faktoren auf die Umwelt: Zerstörung der Wälder für die Papierindustrie, Erosion, (in der 11. Klasse laut Rahmenplan vorgesehen),
- Geschichte: Geschichte des Papiers/der Papierherstellung, Einfluss des Papiers auf die geistige Entwicklung und Entwicklung der verschiedenen Kulturen,
- Biologie: Funktion von Cellulose und Lignin in pflanzlichen Zellen und Geweben (Profilkurs 11. Klasse Biologie),
- Kunst: Gestaltung von Papieren, "Abhängigkeit" der Kunst vom Papier, Papierfalten: Origami,
- Weitere Themen:
 - Papier im Computerzeitalter,
 - Papier als Werkstoff: Falten mit Papierstreifen, Testen der Papierfestigkeit durch Faltung in T- oder L- Strukturen,
 - Tintenherstellung, Tintenfraß, Rettung alter Schriften z.B. durch Papierspaltung.

3. Voraussetzungen

3.1 Allgemeine Voraussetzungen

Die Klasse 11c besteht aus 21 Schülern, 13 Mädchen und 8 Jungen. Ich unterrichte diese Klasse nur während dieser Unterrichtsreihe vom 16.2.1999 bis 30.3.1999 selbständig. Leider konnte ich vorher aufgrund von Stundenplanüberschneidungen mit meinem eigenen Unterricht in der Klasse nicht regelmäßig in Chemie hospitieren. Mit dem in dieser Klasse unterrichtenden Lehrer stand ich jedoch regelmäßig in Kontakt, um zu erfahren, was in dieser Klasse unterrichtet wurde bzw. abzusprechen, welche Inhalte nicht vorweggenommen werden sollten.

Bei dieser Lerngruppe handelt es sich, zumindest im naturwissenschaftlichen Bereich, nicht um eine besonders leistungsstarke Klasse. Die Leistungsfähigkeit der Schüler ist sehr heterogen. Ein Schüler, Benjamin, ragt in besonderem Maße durch sein überdurchschnittliches Fachwissen heraus, so dass der Unterricht für diesen Schüler in der Regel eine Unterforderung darstellt. Er hat auf fast sämtliche Fragen und Probleme die korrekte fachwissenschaftliche Antwort parat. Sein Wissensdrang kann durch Zusatzinformationen befriedigt werden, die er sich auch selbständig am Ende der jeweiligen Stunde durch Nachfragen einholt. Man kann, wenn der Unterrichtsfortgang an einer Stelle ins Stocken gerät, auf Benjamin zurückgreifen, der den anderen Schülern gern sein Wissen erläutert.

In der Regel ist die Beteiligung der Schüler dieser Klasse vor allem bei praktischen Themen oder Themen mit Alltagsbezug recht hoch. Einige, darunter auch zwei ausländische Schüler, wissen jedoch, dass sie aufgrund ihrer bisherigen Noten aller Wahrscheinlichkeit nach nicht in die gymnasiale Oberstufe versetzt werden. Sie sind offensichtlich nicht willens oder in der Lage, ihre Noten zu verbessern. Diese Schüler folgen nur selten dem Unterricht, machen sich häufig durch Störungen bemerkbar und lenken andere Schüler ab.

Insgesamt ist der Anteil ausländischer Schüler mit sieben in dieser Klasse relativ hoch, was sich aber nur bei zwei Schülern in der sprachlichen Qualität von Schüleräußerungen bemerkbar macht, bei denen chemische Vorgänge ausführlicher beschrieben oder erläutert werden müssen.

3.2 Spezielle Voraussetzungen

Durch gelegentliche Hospitationen in dieser Klasse und durch Gespräche mit dem unterrichtenden Lehrer wusste ich, welcher Unterrichtsstoff in der Klasse behandelt wurde und konnte Einfluss darauf nehmen, dass nichts vorweggenommen wurde. So wurden mit den Schülern im Rahmen des Themas "Brot" die Kohlenhydrate Glucose und Stärke behandelt, nicht jedoch die Cellulose. Die Behandlung der Cellulose sollte in dieser Unterrichtsreihe für die Schüler eine Anwendung des vorhandenen Wissens darstellen.

Auch die Chemie der Waschmittel und die Glasherstellung wurde bereits behandelt. So sollten den Schülern bei dem Thema Deinken die Waschmittel und bei der Behandlung der Füllstoffe das Retentionsmittel Natronwasserglas, das für eine Bindung des Gipses im Faservlies sorgt, zumindest von den Begriffen her bekannt sein.

Ich gehe davon aus, dass die Schüler über Papier praktisch kein Vorwissen aus der Schule haben, da dieses Thema nicht im Rahmenplan der Berliner Schule in diesem Umfang vorgesehen ist. Lediglich ein Schüler erzählte mir, dass er in der Grundschule aus Altpapier Papier hergestellt hatte, und zeigte mir das Produkt.

Schülerversuche wurden vom unterrichtenden Lehrer nur in sehr geringem Umfang durchgeführt, so dass die Schüler im Experimentieren nur wenig Übung haben. Aus diesem Grund werde ich in dieser Unterrichtsreihe mit recht einfachen Experimenten (Lignin- und Cellulosenachweis) beginnen und erst im weiteren Unterrichtsverlauf Experimente mit größeren Schwierigkeitsgrad von den Schülern durchführen lassen (Papierherstellung, Bleichen, Deinken).

4. Übersicht über die Unterrichtsreihe "Papierherstellung und -veredelung"

<u>Stunde</u>	<u>Thema der Stunde</u>	<u>Zusammenfassung der Stunde</u>
1 (16.2.99)	Einführung in die Thematik -Papier-	Brainstorming (Mindmap) zum Thema Papier, wobei sich die Frage von den S. herauskristallisiert, woraus Papier besteht. Hierzu werden die S. aufgefordert, Vermutungen und eine Möglichkeit zur Untersuchung dieser Frage zu formulieren (Vermutung: Papier besteht aus Holz – Untersuchung: Schauen, was im Papier drin ist und was im Holz drin ist). Hierauf präsentiert der L. eine OH-Folie mit den Inhaltstoffen des Holzes. Anschließend erfolgt im S.-Versuch eine Untersuchung verschiedener Papiere auf Lignin und Cellulose, wobei die S. feststellen, dass alle Papiere Cellulose, aber nur einige Papiere Lignin enthalten.
2 (19.2.99)	Lignin und Cellulose	Die S. erarbeiten anhand eines AB die chemische Struktur von Lignin und Cellulose und deren Funktion in pflanzlichen Zellen. Der L. präsentiert ein vergilbtes und ein nicht vergilbtes, jeweils gleich altes Papier, das im S.-Versuch auf Lignin untersucht wird. Als Ergebnis erkennen die S. die nachteilige Eigenschaft des Vergilbens von ligninhaltigen Papieren. Durch die nachträgliche Information an die S., dass es sich bei dem nicht vergilbten Papier um "holzfreies" Papier handelte, können die S. im Unterrichtsgespräch klären, dass es sich hierbei genauer gesagt um ligninfreies Papier handelt.
3 (23.2.99)	Herstellung von Zellstoff: Celluloseaufschluss nach dem Acetosolv-Verfahren	In Anknüpfung an die letzte Stunde vermuten die S., dass das Lignin durch Spaltung der Etherbrücken in kleine Bruchstücke überführt werden muss, damit es aus dem Holzschliff entfernt werden kann. Anhand eines AB erarbeiten die S. das Prinzip des Celluloseaufschlusses, wobei die S. das Grundprinzip (Überführung des Lignins, je nach Verfahren, in lösliche Sulfonsäuren oder Phenolate, die mit dem Abwasser entfernt werden können) selbst erkennen und als Hausaufgabe ein Schema "Vom Holz zum Papier" unter Verwendung vorgegebener Begriffe erstellen. Während der Stunde wird der Demonstrationsversuch "Zellstoffherstellung nach dem Acetosolv-Verfahren" durchgeführt. Dieser Versuch läuft parallel zur Erarbeitung der Theorie des Zellstoffaufschlusses, da der Versuch, um brauchbare Ergebnisse zu erhalten, bei vorgeheizten Lösungen, mindestens 30 Minuten laufen muss.
4 (26.2.99)	Prinzip der Papierherstellung	Die S. erarbeiten mit den vorgegebenen Materialien weitgehend selbständig das Prinzip der Papierherstellung und die hierbei erforderlichen Arbeitsschritte: "Herstellung eines Faserbreis und Schöpfen" und üben nach einer Lehrerdemonstration das Abgautschen, Pressen und Trocknen. Die Arbeitsschritte werden an ungebleichtem Zellstoff durchgeführt und in einen AB eingetragen. Als Hausaufgabe werden die fehlenden Bearbeitungsschritte in einen AB eingetragen und die Funktion dieser Arbeitsschritte ergänzt (siehe Abbildung 6).
5 (2.3.99)	Bleichen der Zellstofffasern	Die S. bemängeln die braune Färbung des selbst hergestellten Papiers und schlagen vor, die Cellulosefasern zu bleichen. Das Bleichen der Fasern wird im S.-Versuch mit konzentriertem Wasserstoffperoxid durchgeführt. Anschließend wird die Bleichwirkung des aus der Zersetzung des

		<p>Wasserstoffperoxids freigesetzten atomaren Sauerstoffs in der Auswertung als Reaktionsgleichung festgehalten. Die Umweltbelastungen durch Bleichung mit Chlor wird mit der durch Sauerstoff verglichen</p>
<p>6 (5.3.99)</p>	<p>Füllstoffe</p>	<p>Die S. erkennen die Unebenheit der Papieroberfläche und erkennen an mikroskopischen Aufnahmen, dass in "richtigem" Papier Füllstoffe enthalten sind.</p> <p>Die S. erarbeiten weitgehend selbständig die notwendigen Eigenschaften der Füllstoffe (Farbneutralität bzw. Weißgrad und feine Konsistenz) und ermitteln, durch Herstellung von Papieren mit unterschiedlichen Füllstoffkonzentrationen, die optimale Füllstoff-konzentration im Papier.</p>
<p>7 (9.3.99)</p>	<p>Leimungs- mittel</p>	<p>Die S. erkennen beim Beschreiben der Papieroberfläche mit Tinte, dass die Tinte zu stark ins Papier aufgesaugt wird. Sie fordern, die Oberfläche des Papiers so zu gestalten/zu imprägnieren, dass die Tinte nicht so stark aufgesaugt wird.</p> <p>Im S.-Versuch leimen die S. selbst hergestelltes Papier mit unterschiedlichen Konzentrationen an Leimungsmitteln (hier Dialkyldiketene) und ermitteln die optimale Leimungsmittelkonzentration durch Beschreiben der Papieroberfläche mit Tinte. Die Wirkungsweise der Leimungsmittel wird anhand von Abbildungen auf einem Arbeitsbogen deutlich.</p> <p>An den selbst geleimten Papieren wird den S. die zu starke Hydrophobierung der Papieroberfläche bei der hohen Leimungsmittelkonzentration und die zu schwache Hydrophobierung bei der geringen Leimungsmittelkonzentration deutlich.</p>
<p>8 (12.3.99)</p>	<p>Papier aus Altpapier – Recycling- papier</p>	<p>Die S. erkennen anhand von Statistiken des Umweltbundesamtes, dass die Verwendung von Altpapier aufgrund des geringeren Energie- und Rohstoffverbrauchs sowie der geringeren Gewässerbelastung ökologisch sinnvoll ist.</p> <p>Anhand von Abbildungen von Frisch- und Altpapierfasern erkennen die S., dass ein unbegrenztes Recycling der Papierfasern aufgrund deren Verkürzung und Zerkleinerung bei der Altpapieraufbereitung nicht möglich ist, so dass ein gewisser Zusatz an Frischfasern zur Papierherstellung insgesamt unerlässlich ist.</p> <p>Die Notwendigkeit der Reduzierung des Papierverbrauches wird anhand einer Statistik deutlich, die S. erkennen hier die größten Einsparpotentiale vor allem im Verpackungsbereich und bei Massendruckpapieren (ohne Zeitungen). Abschließend stellen die S., mit den Ihnen bekannten und geübten Arbeitsschritten, aus Zeitungspapier Altpapier her.</p>
<p>9 (16.3.99)</p>	<p>Deinken von Altpapier</p>	<p>Beim Betrachten der in der letzten Stunde hergestellten Papiere bemängeln die S. die graue Färbung des Papiers und stellen Vermutungen für deren Beseitigung auf (z.B. Entfernung der Druckfarben durch Bleichen). Auf evtl. Nachfrage des L. nach anderen Möglichkeiten nennen die S. das Herauslösen der Druckfarben durch geeignete Lösungsmittel.</p> <p>Auf einem AB wird der Versuch zum Deinken von Altpapier beschrieben und von den S. in Gruppen selbst durchgeführt. Anschließend wird das deinkte Papier gebleicht und ein Schema zum Prinzip des Deinking-Prozesses von den S. anhand einer OH-Folie</p>

		<p>erläutert.</p> <p>Als Hausaufgabe sollen die S. das durch Deinking hergestellte Papier mit einem Verfahren zur Umweltpapierherstellung von E. Bonda (1970), bei dem die Druckfarben ohne Abwasserbelastung im Papier gleichmäßig verteilt werden, vergleichen.</p>
10 (19.3.99)	Industrielle Papierherstellung und Umweltbelastungen durch die Papierherstellung	<p>Die S. erkennen anhand eines Schemas zur industriellen Papierherstellung, dass Papier industriell nach den gleichen Verfahrensschritten der eigenen handwerklichen Papierherstellung (Schöpfen, Pressen, Trocknen, Leimen und Glätten) hergestellt wird. Zur Verdeutlichung der Ausmaße einer Papierfabrik werden Dias einer Papiermaschine und der vorgeschalteten Stoffaufbereitung sowie einer Lagerhalle mit fertigen Papierrollen gezeigt.</p> <p>Anschließend werden mit den S. die Verfahrensschritte aufgelistet, bei denen stärkere Umweltbelastungen auftreten. (z.B. Bleicherei – Abwasserbelastung durch in Lösung gegangene Cellulose, Laugen oder ggf. chlorhaltiger Abwässer)</p>
11 (23.3.99)	Erstellung einer Wandzeitung	<p>Die S. erstellen eine Wandzeitung, indem sie in Arbeitsgruppen je ein im Unterricht behandeltes Thema zur Papierherstellung/-veredelung auswählen und für den Laien verständlich aufbereiten. Damit dies in nur zwei Stunden möglich ist, sollen die S. die Texte für die Wandzeitung als Hausaufgabe formulieren, wozu sich die jeweilige Gruppe an einem Nachmittag treffen soll.</p> <p>(Dokumentation der Wandzeitung, siehe Anhang)</p>
12 (26.3.99)	Wandzeitung zur Papierherstellung und -veredelung	
13 (30.3.99)	Schöpfen von Papieren für den Kunstunterricht	<p>In dieser Stunde stellen die S. nochmals die Papiere (aus ungebleichten/gebleichten Fasern oder Altpapier) her, die sie im Kunstunterricht gerne beschreiben möchten ("Büttenpapier" zur Erstellung von Urkunden, Calligraphie, etc.).</p>

: Diese Stunden werden unter Punkt IV ausführlich dargestellt und besprochen.

IV. Durchführung und Analyse der Unterrichtsreihe

1. Planung und Analyse der ersten Stunde "Einführung in die Thematik -Papier"

1. Lernziele:

Grobziel:

Die Schüler stellen Ihr Vorwissen über Papier dar und erkennen bei der Durchführung eines selbst entwickelten Versuchs, dass Papier aus Holz hergestellt wird und dass alle Papiere Cellulose, aber nur einige Papiere Lignin enthalten.

Feinziele:

Die Schüler können ...

1. ... anhand der Geschichte selbständig das Thema der nächsten Stunden nennen, Sie nennen "Papier".
2. ... ihr Vorwissen über "Papier" darstellen und anschließend den Themengebieten Papiersorten, Eigenschaften von Papier und der Frage "Woraus besteht Papier?" zuordnen. (siehe Tafel).
3. ... weitgehend selbständig einen Versuch zur Überprüfung der Vermutung "Papier wird

aus Holz hergestellt" entwickeln.

Sie fordern, die Inhaltsstoffe des Papiers mit denen des Holzes zu vergleichen.

4. ... weitgehend selbständig einen Ergebnissatz formulieren.

Sie nennen, dass alle Papiere Cellulose enthalten, jedoch nur wenige den Holzbestandteil Lignin.

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

1. Verlaufsplanung:

Phase/Zeit	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Aktionsform Medien
Einstieg 5'	L. erzählt eine Geschichte über das Papier, ohne den Begriff "Papier" zu nennen und fragt die S., womit wir uns in nächster Zeit beschäftigen wollen. L. schreibt "Papier" an die Tafel.	S. nennen "Papier"	L-Vortrag Tafel 1
Erarbeitung I 10'	L.: "Nennen Sie bitte alles, was Ihnen zum Thema "Papier" einfällt". (Erstellung einer Mindmap). Anschließend werden jeweils zusammen-gehörende Begriffe mit Farbkreiden geordnet und folgenden 3 Überschriften zugeordnet: (a) Papiersorten, (b) Eigenschaften von Papier und (c) "Woraus besteht Papier?" L. lenkt das Schülerinteresse auf die Frage (c) und bittet die S. Vermutungen anzustellen, wie überprüft werden kann, ob Papier aus Holz besteht. L. zeigt OH-Folie mit den Inhaltsstoffen von Holz.	S. nennen z.B.: Beschreibbarkeit, Färbung, Papiersorten und schreiben an die Tafel. S. nennen Vergleich der Inhaltsstoffe des Holzes mit denen des Papiers S. nennen Untersuchung von Papier auf Lignin und Cellulose	UG Tafel 1 UG OH-Folie
Erarbeitung II 20'	L. teilt AB mit Versuchsbeschreibung aus und gibt anschließend die Materialien aus.	S. führen den Versuch durch.	AB S.-Versuch
Auswertung 10'	S. erstellen eine tabellarische Übersicht über die untersuchten Papiere und die Bestandteile (Lignin und Cellulose). L.: "Formulieren Sie einen Ergebnissatz".	S. nennen z.B.: "Alle Papiere bestehen aus Cellulosefasern, einige enthalten zusätzlich Lignin, was darauf hindeuten könnte, dass das Papier aus Holz hergestellt wird."	UG Tafel 1

2. Methodisch-Didaktische Überlegungen:

Zu Beginn der Stunde werden die Schüler mit einer kurzen Geschichte in die neue

Thematik eingeführt, wobei ihnen die Wichtigkeit und Allgegenwärtigkeit des Stoffes Papier klar werden soll. Anschließend werden die Schüler aufgefordert, alles, was ihnen zum Thema Papier einfällt, zu nennen. Durch dieses Vorgehen bekommt der Lehrer einen Einblick in das Vorwissen der Schüler. Dieses Einzelwissen wird hierdurch innerhalb der Klasse verbreitet und kann somit anschließend als allgemeines Vorwissen der ganzen Klasse angesehen werden. Das genannte wird zu bestimmten Überschriften und damit in verschiedene Themenkreise eingeordnet. Dabei ergibt sich die Frage, ob Papier aus Holz hergestellt wird. Hier wird durch die Demonstration eines Blocks mit der Aufschrift "holzfrees Papier" das ggf. vorhandene Wissen in Frage gestellt und eine Überprüfung angeregt. Aufgrund der so hergestellten Diskrepanz, dem Anknüpfen an für die Schüler relevante Gegenstände und der Aussicht auf handelnde Auseinandersetzung beim Überprüfen der Vermutungen ist eine hohe Motivation zu erwarten. Durch die Frage, wie man denn untersuchen könnte, ob Papier aus Holz hergestellt wird, werden die Schüler aufgefordert, eine Möglichkeit zur Klärung der Rohstoffe von Papier zu finden. Durch das Infragestellen der Herstellung von Papier aus Holz sind die Schüler nicht nur gefordert, eine Möglichkeit zur Überprüfung zu erstellen, sondern sie lernen gleichzeitig verschiedene Papiersorten kennen. Dabei erkennen die Schüler als Unterschied zwischen den Papieren, dass nur einige Papiere Lignin, aber alle Cellulose enthalten. In der nächsten Stunde wird hieran angeknüpft, indem die Schüler feststellen, dass ligninhaltige Papiere vergilben und die Schüler herausarbeiten, dass holzfrei genauer ligninfrei bedeutet.

Der Versuch des Lignin- und Cellulosenachweises ist, da nur die Reagenzlösungen auf das zu untersuchende Papier zu tropfen sind, sehr einfach. Daher ist dieser Versuch gut geeignet, die Schüler im selbständigen Experimentieren zu schulen. Das ist wichtig, da die Schüler im weiteren Verlauf dieser Unterrichtsreihe sehr viele Versuche selbständig durchführen sollen. Sechs Papiere und ein Stück Holz werden für den Versuch vom Lehrer vorgegeben, um eine ausufernde Diskussion der Schüler über die zu wählenden Materialproben zu begrenzen. Diese Diskussion soll jedoch nicht ganz unterbunden werden, da sie ein Lernschritt auf dem Weg zum selbständigen Experimentieren ist. Daher sollen die Schüler ein weiteres Papier selbst auswählen.

Die Beobachtungen des Versuches werden der besseren Übersichtlichkeit wegen in einer Tabelle zusammengefasst, die die Schüler an der Tafel ausfüllen. Abschließend wird ein Ergebnissatz formuliert, wobei die Schüler als Erweiterung schon Vermutungen über den unterschiedlichen Ligningehalt anstellen können. Das dient zugleich als Überleitung zur nächsten Stunde.

Planung und Durchführung des Versuches erfolgen also entsprechend der eingangs (Kapitel II) aufgeführten Charakteristika des handlungsorientierten Unterrichts unter Beteiligung der Schüler sowie in einem dialektischen Verhältnis von Lehrerführung und Selbständigkeit. Praktisches Tun, Denken und Wissensaneignung bilden so eine Einheit.

3. Durchführung und Analyse der Stunde:

Diese Einführungsstunde in die Unterrichtsreihe "Papier" verlief weitgehend wie geplant. In der ersten Phase dieser Unterrichtsstunde erfassten die Schüler sofort die Thematik der nächsten Stunden, da die Schüler (leider) von dem unterrichtenden Lehrer vor den Winterferien darüber informiert wurden, dass nach den Ferien das Thema "Papier" behandelt wird. Hieraus resultiert meines Erachtens das beim Erstellen der Mindmap auffallend umfassende, nicht meinen Erwartungen entsprechende Vorwissen der Schüler, insbesondere einer Schülerin. Offensichtlich hat sich diese Schülerin in den Winterferien Informationen über Papier und Papierherstellung angelesen, denn sie nannte als Flächengewicht von Papier nicht den Wert von etwa 80 g/m^2 , der vom Schreibblock ablesbar gewesen wäre, sondern den Wert $10\text{-}200 \text{ g/m}^2$, der der Definition von Papier entspricht. Diese Schülerin wusste auch, dass Papier aus Pflanzenfasern, insbesondere aus Holz, hergestellt wird. Andere Schüler nannten verschiedene Eigenschaften von Papier und

Papiersorten. Das freiwillige Auseinandersetzen mit dem Thema in den Ferien interpretiere ich als Indiz für die positive Motivation und Interesse weckende Wirkung des Anknüpfens an die Erfahrungswelt der Schüler durch die Thematik "Papier". Durch farbiges Einkreisen ordneten die Schüler ihre Stichpunkte an der Tafel den Oberbegriffen "Papiersorten" und "Eigenschaften von Papier" zu.

Da eine Schülerin die Herstellung von Papier aus Holz schon genannt hatte, habe ich an diesem Punkt angeknüpft und einen Papierblock mit der Aufschrift "holzfreies Papier" gezeigt. Daraufhin haben die Schüler selbständig die Frage formuliert, woraus Papier denn nun eigentlich hergestellt wird. Diese bewusst herbeigeführte Verwirrung bewirkte eine emotionale Anteilnahme der Schüler und den Willen, der Sache auf den Grund zu gehen. Der in der folgenden Stunde erzielte "Aha-Effekt" (holzfrei heißt also lediglich ligninfrei) dürfte sich demnach, auch im Zusammenhang mit der handelnden Erarbeitung im Schülerversuch, dauerhaft in das Gedächtnis der Schüler einprägen.

Zur Beantwortung der Frage schlugen die Schüler zuerst eine Untersuchung der Bestandteile von Papier vor. Auf meine Frage, auf welche Stoffe man das Papier untersuchen sollte, forderten die Schüler, dass man nachsehen könnte, welche Stoffe sich im Holz finden, um danach Papier auf diese Stoffe zu untersuchen. Nach der Präsentation der OH-Folie "Bestandteile des Holzes" forderten die Schüler eine Untersuchung des Papiers auf Lignin und Cellulose.

An dieser Stelle wandte eine Schülerin ein, dass es, wie ja schon an der Tafel festgehalten wurde, verschiedene Papiersorten gibt, weshalb man auch verschiedene Papiersorten untersuchen müsste. Nach der Präsentation der Nachweisreaktionen für Lignin und Cellulose durch den Lehrer wurde dieser Versuch von den Schülern geplant und im Schülerversuch durchgeführt, wobei die Schüler sechs vorgegebene Papiere, ein kleines Stück Holz und ein selbst ausgewähltes Papier auf Cellulose und Lignin untersucht haben. Dieser Versuch verlief ohne Probleme, da er aufgrund seiner Einfachheit auch von Schülern ohne große experimentelle Übung durchgeführt werden kann. Bei drei Schülergruppen kam eine Debatte auf, welches Papier zusätzlich untersucht werden sollte. Einige Schüler wollten einfach Heftpapier verwenden, worauf andere Schüler einwarfen, dass dies doch nichts anderes als das bereits vorgegebene, weiße Schreibpapier wäre. Zum Schluss einigten sich zwei Gruppen unabhängig voneinander auf Kaugummipapier, das auf der einen Seite beschichtet war, die andere Gruppe verwendete dann doch Schreibblockpapier, weil das ja liniert sei. Die restlichen drei Gruppen führten nicht solche Diskussionen und verwendeten der Einfachheit halber Schreibblockpapier. An dieser Stelle zeigt sich, dass sich zumindest die Schüler in den drei Gruppen, die recht heftig diskutiert hatten, Gedanken um diesen Versuch und ein möglichst aussagekräftiges Ergebnis machten. Dies ist insofern bemerkenswert, als man gerade bei der Durchführung einfacher Schülerversuche oft den Eindruck gewinnt, dass viele Schüler die Versuche automatisiert durchführen, ohne dabei auch nur im geringsten nach- oder mitzudenken. Der Aufforderungscharakter des Lerninhalts sprach die Schüler offenbar unterschiedlich an, bewirkte aber bei einem großen Teil ein fruchtbares Verhältnis von Kopf- und Handarbeit.

Bei den Beobachtungen gab es einige Diskussionen, da einige Gruppen mehrere Tropfen auf die Probe gegeben hatten, was zu einer stärkeren Färbung führte, andererseits lässt sich die Färbung auf den grauen Papieren z.T. schlecht erkennen. Das Hochglanzpapier saugt dagegen die Reagenzien praktisch nicht auf, weshalb es zu keiner Färbung kam. Beim Auftreten dieses Problems wandten sich die Schüler sofort an mich und baten um Hilfe. Ich regte die Schüler dazu an, sich selbst Gedanken um die Lösung dieses Problems zu machen. Deutlich wurde, wie sehr es die Schüler gewohnt sind, dass ihnen der Lehrer sofort eine Lösung anbietet und sie sich i.d. Regel nicht selbst Gedanken zur Lösung eines Problems machen müssen. Eine Gruppe kam dann mehr zufällig auf eine mögliche Lösung. Die Schüler brachten recht viel Reagenzlösung auf das Papier, so dass die Lösung an den Rand, eine Risskante, lief. An der Risskante wurde die Lösung aufgesaugt und so der Nachweis ermöglicht. Die Gruppe erklärte dann mit Feuereifer diese Möglichkeit den anderen Gruppen, so dass der Versuch überall fortgesetzt werden konnte.

Diese Unterbrechung dauerte insgesamt knapp fünf Minuten, die man als überflüssige oder vertane Zeit kritisieren könnte, aber dafür hatten die Schüler das Erfolgserlebnis, ohne Hilfe des Lehrers ein Problem durch selbständiges Ausprobieren und Handeln gelöst zu haben, wobei die Motivation der Schüler, sich mit diesem Problem auseinanderzusetzen, bei allen Gruppen sehr groß war. Solche Erfolgserlebnisse wirken nicht nur positiv auf die Gedächtnisleistung (siehe Teil II), sondern stärken auch das Selbstbewusstsein und Engagement beim selbständigen Experimentieren.

Die Resultate der Untersuchungen sind sehr eindeutig: Alle Papiere enthalten Cellulose, jedoch nur einige Papiere enthalten Lignin. Die Schüler folgerten daraus, dass Papier offenbar aus Holz besteht, da in allen Papieren Cellulose, der Hauptbestandteil des Holzes, enthalten ist. Nun stellte sich hier die Frage, warum nur einige Papiere Lignin enthalten. An dieser Stelle vermuteten die Schüler bereits, dass das Lignin zur Herstellung von weißem Papier aus dem Holz entfernt wird, da alle untersuchten Papiere, die einen positiven Ligninnachweis aufwiesen, eine mehr oder weniger starke Braun-/Graufärbung zeigten (Altpapier, Zeitungspapier, ungebleichter Kaffeefilter, Papierhandtücher aus Altpapier, Holz). Diese Frage wurde in der folgenden Stunde, in der Lignin und Cellulose, deren Funktionen in Pflanzen und die Nachteile ligninhaltigen Papiers, nämlich die Vergilbung des Papiers unter Lichteinfluss, betrachtet wurden, beantwortet. Hier folgerten die Schüler, dass das Lignin für hochwertiges, weißes Papier entfernt werden müsste bzw. in weißem Papier entfernt wurde.

Die Schüler bewiesen in dieser Stunde einiges Geschick bei der Lösung von Problemen, sei es bei der Planung der Untersuchung, ob Papier wirklich aus Holz besteht, andererseits bei der Versuchsdurchführung. Der Vorschlag, die Inhaltstoffe von Holz und Papier zu vergleichen, wurde ohne Einhilfen des Lehrers genannt. Das detektivische Arbeiten zur Klärung der Frage, woraus Papier hergestellt wird, in Anbetracht der Annahme, dass Papier aus Holz besteht und dem Widerspruch zu der Angabe "holzfreies Papier", hat den Schülern offensichtlich viel Spaß gemacht. Hierbei hatten die Schüler den Eindruck den Unterrichtsfortgang weitgehend selbständig bestimmen zu können, da in der Mindmap vom allgemeinen Vorwissen der Schüler eine Frage abgeleitet wurde, dessen Beantwortung durch die Schüler geplant und durchgeführt wurde. Dies wird möglich durch den sachlogischen Unterrichtsgang infolge des Aufforderungscharakters des Unterrichtsinhalts (Was ist Papier, woraus besteht es?).

Die Schüler haben am Ende der Stunde zwar angenommen, dass Papier wahrscheinlich aus Holz hergestellt wird, jedoch gleichzeitig die Frage gestellt, was dann mit dem Lignin in den "holzfreien Papieren" geschieht und dessen Klärung gefordert. Die diesen schüleraktiven Unterricht begleitende Motivation erwies sich auch noch für die nächste, theoriebeladene Stunde als tragfähig. Auch Schüler, die sonst nicht durch hohe Mitarbeit auffallen, beteiligten sich rege am Unterricht.

2. Planung und Analyse der vierten Stunde "Das Prinzip der Papierherstellung"

1. Lernziele:

Grobziel:

Die Schüler erarbeiten weitgehend selbständig das Prinzip der Papierherstellung und wenden dieses an, indem sie selbständig Papiere herstellen.

Feinziele:

Die Schüler können ...

1. ... weitgehend selbständig feststellen, dass der Faserbrei zu stark konzentriert ist und durch Ausprobieren eine geeignete Verdünnung für die Fasersuspension herausarbeiten.

Sie geben Wasser zu dem Faserbrei, um die günstigste Faserkonzentration zu ermitteln und formulieren eine Anweisung für diesen Arbeitsschritt.

2. ... weitgehend selbständig erarbeiten, wie der Vorgang des Papierschöpfens abläuft und wie eine möglichst homogene Faserverteilung auf dem Schöpfsieb zu erreichen ist.

Sie benutzen den Schöpf- und Aufsetzrahmen sachgerecht, erreichen eine homogene Faserverteilung auf dem Schöpfsieb und formulieren eine Anweisung für diesen Arbeitsschritt.

3. ... nach der Demonstration der Arbeitsschritte "Abgautschen, Pressen und Trocknen" diese selbständig durchführen.

Sie führen diese Arbeitsschritte selbständig aus.

4. ... die erlernten Arbeitsschritte zur Papierherstellung selbständig und zusammenhängend durchführen.

Sie führen die Schritte der Papierherstellung (Schöpfen, Abgautschen, Pressen, Trocknen) durch.

2. Verlaufsplanung:

Phase/Zeit	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Aktionsform Medien
Einstieg 5'	L.: "Heute sollen Sie Papier herstellen; alles was Sie dafür brauchen, stelle ich Ihnen zur Verfügung. Wie sollten Sie hierbei vorgehen?" L. demonstriert Materialien und einen Messbecher mit Faserbrei. Als Hilfe wird den S. ein AB zur Verfügung gestellt.	S. nennen Herstellung eines Faserbreis, dann Schöpfen des Papiers mit dem Sieb.	UG AB
Erarbeitung I 13' Sammlung/Sicherung	L.: "Stellen Sie nun einen Faserbrei zum Papierschöpfen her". L. geht von Gruppe zu Gruppe, beantwortet Fragen und hilft. Wenn möglichst viele Gruppen einen etwa optimalen Faserbrei haben, wird unterbrochen, die Ergebnisse besprochen. L.: "Formulieren Sie eine Beschreibung des Arbeitsschrittes, damit jemand, der dies noch nicht durchgeführt hat, die Herstellung eines Faserbreis nachvollziehen kann".	S. holen Materialien. S. geben den Faserbrei in die große Schüssel und stellen fest, dass mit dem Sieb kein Papier hergestellt werden kann und geben entsprechend Wasser hinzu. S. beschreiben Arbeitsschritt und notieren diesen auf dem AB.	Versuchsmaterialien (S.-Versuch) UG
Erarbeitung II 10' Sammlung	L.: "Probieren Sie nun, aus dem Faserbrei einen Papierbogen zu schöpfen" L. geht von Gruppe zu Gruppe, beantwortet Fragen und hilft. Wenn möglichst viele Gruppen ein möglichst homogenes Faservlies erhalten, wird unterbrochen, die Ergebnisse besprochen.	S. probieren mit dem Sieb ein möglichst homogenes Papiervlies zu erhalten. S. beschreiben Arbeitsschritt und notieren diesen auf dem AB.	S.-Versuch

<i>lung/ Sicherheit</i>	L.: " Formulieren Sie eine Beschreibung des Arbeitsschrittes, damit jemand, der dies noch nicht durchgeführt hat, den Schöpfvorgang nachvollziehen kann".		UG
Erarbeitung III 7'	L. demonstriert die nun folgenden Schritte: "Abgautschen, Pressen und Trocknen" und fordert die S. auf, diese Arbeitsschritte nachzuvollziehen. L. geht von Gruppe zu Gruppe, beantwortet Fragen und hilft.	S. führen die Arbeitsschritte aus.	L-Demo-Versuch S-Versuch
Anwendung 10'	L.: "Erstellen Sie nach den nun erarbeiteten Arbeitsschritten Papiere". L. geht von Gruppe zu Gruppe, beantwortet Fragen und hilft.	S. erstellen Papiere	S-Versuch
Sicherung (Hausaufgabe)	L.: "Notieren Sie eine Beschreibung der Arbeitsschritte (Abgautschen, Pressen, Trocknen), so dass jemand, der dies noch nicht durchgeführt hat, diese Arbeitsschritte nachvollziehen kann und ergänzen Sie die Funktion des jeweiligen Arbeitsschrittes".	S. notieren Arbeitsschritt auf AB. S. notieren Funktion auf AB.	

-
-
-
-

3. Methodisch-Didaktische Überlegungen:

Damit die Schüler in dieser Stunde viel selbständig arbeiten und ausprobieren können, muss man viel Zeit hierfür einplanen. Zwei aufeinander folgende Stunden möchte ich nicht hierfür verwenden, da es mir sehr ungeeignet scheint, diese Stunde abubrechen und in der Folgestunde wieder hieran anzuknüpfen. Eine Doppelstunde steht mir nicht zur Verfügung und so darf für den Einstieg in diese Einzelstunde nicht allzuviel Zeit aufgewendet werden. Daher werde ich den Faserbrei vor der Stunde vorbereiten, da das Auflösen der Fasern selbst in heißem Wasser einige Zeit dauert. Da die Schüler die einzelnen Arbeitsschritte weitgehend selbständig entwickeln sollen, werde ich den Faserbrei fertig auflösen, jedoch nicht ausreichend verdünnen.

Die Schüler erhalten also einen ein Liter Messbecher mit konzentriertem Faserbrei. Hieran sollen die Schüler in der ersten Erarbeitungsphase feststellen, dass der Faserbrei zu konzentriert ist und mit Wasser verdünnt werden muss. Durch Ausprobieren sollen die Schüler eine möglichst günstige Verdünnung herausfinden.

Wenn möglichst viele Gruppen zu einem Ergebnis gekommen sind, wird durch den Lehrer kurz unterbrochen, um die Ergebnisse zu besprechen und auch den Gruppen, die nicht zu einem Ergebnis gelangt sind, das weitere Arbeiten zu ermöglichen. Dieser Arbeitsschritt (Herstellung eines Faserbreis) soll dann von den Schülern selbständig formuliert und in den Arbeitsbogen (siehe Abbildung 6) eingetragen werden. Dies hat neben der Verbalisierung der Handlung (und damit der Förderung der kognitiven Verarbeitung) den Vorteil, dass die Schüler, wenn wieder Papier hergestellt werden soll, auf diesem Bogen eine Anleitung und Hilfe finden. Durch das selbständige Aufschreiben ist, zumindest bei einigen Schülern, die Behaltensleistung höher, als wenn der Text nur mündlich aufgenommen bzw. auf dem Arbeitsbogen vorgegeben wird.

In der zweiten Erarbeitungsphase sollen die Schüler nun versuchen, aus dem Faserbrei einen Papierbogen zu schöpfen. Hierbei sollen die Schüler die Handhabung des Schöpfsiebes und des Aufsetzrahmens selbständig erarbeiten. Außerdem ist es recht schwierig, eine gleichmäßige Verteilung der Fasern auf dem Sieb zu erreichen. Dies soll

von den Schülern ausprobiert und geübt werden. Hierbei steht der Lehrer als Helfer zur Verfügung, gibt Tipps und Hinweise und hilft den Gruppen, die nicht weiter kommen oder auf einem völlig falschen Weg sind. Wiederum werden anschließend die Ergebnisse besprochen, damit alle Schüler mit dem gleichen Wissen fortfahren können. Auch wird dieser Arbeitsschritt wieder von den Schülern formuliert und in den Arbeitsbogen eingetragen.

In der dritten Erarbeitungsphase demonstriert der Lehrer die Schritte "Abgautschen, Pressen und Trocknen", da das Ausprobieren, vor allem des Abgautschens durch die Schüler, extrem viel Zeit kosten würde. Anschließend sollen die Schüler diese Arbeitsschritte hintereinander durchführen und üben, wobei der Lehrer für Hilfe und Fragen zur Verfügung steht. Aufgrund der knappen Zeit werden die letzten Arbeitsschritte nur mündlich besprochen und sollen von den Schülern zusammen mit den Funktionen der jeweiligen Arbeitsschritte als Hausaufgabe formuliert werden. Diese Hausaufgabe soll die Schüler dazu bringen, sich nochmals gedanklich mit den Arbeitsschritten auseinanderzusetzen und das Handlungswissen zu verbalisieren. Sie sollen sich klarmachen, wozu die einzelnen Arbeitsschritte dienen. Als Hilfe werden an der Tafel die Begriffe "Blattbildung, Faservlies, homogener Faserbrei und Wasserentzug" vorgegeben, die von den Schülern verwendet werden sollen.

Die Vorgabe dieser Begriffe soll den Schülern einerseits bestimmte Fachbegriffe (z.B. Faservlies und Blattbildung) geläufig machen und andererseits ein langes Umschreiben derselben ersparen. Außerdem sollen die Schüler das selbständige Formulieren üben, da viele Schüler Probleme bei der Formulierung zusammenhängender Sätze haben.

Diese Stunde ist ausgeprägt handlungsorientiert und der Unterrichtsverlauf wird durch den Lerngegenstand (Papierherstellung) strukturiert. Die eigenständige Schüleraktivität ist hoch und wird durch Führung durch den Lehrer ergänzt, um den Schülern einen erfolgreichen Abschluss der Stunde zu ermöglichen. Während und durch das Handeln erlernen die Schüler die grundsätzlichen Verfahrensschritte der Papierherstellung, die sich bei der maschinellen Papierherstellung wiederfinden lassen. Dabei entsteht ein Unterrichtsergebnis mit Gebrauchswert – das eigene Papier. Die handlungsbedingt hohe Motivation wird dadurch, vor allem für die weiterführende Optimierung der Papierqualität in den folgenden Stunden, noch verstärkt.

Durch die hohe Selbständigkeit und das Ausprobieren ("Try and Error") setzen sich die Schüler intensiv mit dem Vorgang der Papierherstellung auseinander. Das Zusammenspiel kognitiver und praktischer Arbeit fördert die Gedächtnisleistung, zumal gerade hier die Möglichkeit gegeben ist -in den Worten Vesters- zahlreiche Eingangskanäle anzusprechen.

4. Durchführung und Analyse der Stunde:

Die Stunde verlief weitgehend wie geplant, zu Beginn jedoch etwas schleppend, da einige Schüler mich mit großen Augen anschauten und von mir Vorgaben erwarteten. Ich ermunterte die Schüler, einfach auszuprobieren, worauf die Schüler entgegneten, ich sollte es ihnen doch sagen, sonst würden sie es nachher nur falsch machen. Daraufhin machte ich ihnen deutlich, dass das nicht schlimm wäre, da noch genügend vorbereitete Töpfe mit Faserbrei zur Verfügung stünden. Diese Gruppen sind erst in der nächsten Phase (Erarbeitung des Schöpfvorganges) richtig aktiv geworden, begannen dann aber mit dem Ausprobieren und fanden auch Spaß daran. Nur zwei Gruppen begannen sofort, selbständig zunächst über den Faserbrei zu diskutieren und

ihn anschließend schrittweise zu verdünnen. Dies zeigt, wie stark es die Schüler gewohnt sind, dass ihnen der Lehrer die Vorgehensweise vorgibt und erläutert, wie vorgegangen werden soll und u.U. die Schüler bei falscher Vorgehensweise rügt. Dies ist natürlich bei vielen Experimenten auch notwendig, da ein Fehler aufgrund der Gefährlichkeit der Stoffe recht schlimme Folgen haben kann oder sie bei einer falschen Vorgehensweise den Versuch nicht zu Ende führen können (Chemikalien oder Geräte werden für den Versuch unbrauchbar).

In dieser Hinsicht ist die Papierherstellung ideal geeignet, die Schüler an eine selbständige und eigenverantwortliche Vorgehensweise heranzuführen. Die Geräte sind ungefährlich und die verwendeten Materialien nicht giftig oder gefährlich. Die Schüler brauchten offensichtlich erst eine Phase in der sie sich an diese Form der selbständigen Erarbeitung durch Ausprobieren gewöhnen mussten, wonach dies jedoch recht problemlos verlief. Der Zeitrahmen konnte gut eingehalten werden. Beim Schöpfen des Papiers haben Schüler von drei Gruppen den Schöpfrahmen verkehrt herum gehalten, so dass sie in den Folgeschritten das Papiervlies nicht hätten abgautschen können. Diesen Fehler bemerkten die Schüler schnell und fragten mich, wie sie denn das Papier von dem Rahmen herunter bekommen könnten. Auch hier ermutigte ich sie, dies doch selbst zu probieren. So fanden die Schüler recht schnell eine Lösung, indem sie den Rahmen einfach umgekehrt in das Wasser tauchten, wobei sich die Fasern vom Sieb lösen.

Beim Schöpfvorgang haben alle Gruppen nach einigem Probieren eine homogene Verteilung der Fasern auf dem Schöpfsieb erreicht. Dies zu erreichen erfordert einiges an Geschick und Übung, wobei die Schüler immer wieder versuchten, ihr Ergebnis zu verbessern.

Etwas schwierig gestaltete es sich zwischendurch für die Besprechung Ruhe und Aufmerksamkeit zu erhalten, da der Handlungsdrang der Schüler enorm war. Nach einigen kurzen Ermahnungen und dem Hinweis, dass sie ja, wenn diese Unterbrechung kurz gestaltet wird, weitermachen könnten, war es jedoch recht gut möglich. So war auch der Zeitrahmen für die Erarbeitung II gut einzuhalten. In dieser Phase kam es auch zu einigen Interaktionen zwischen den Schülern, indem sie bei Nachbargruppen schauten und fragten, wie diese z.B. eine homogenere Faserverteilung erreicht hätten, oder wie sie denn die Fasern vom verkehrt gehaltenen Schöpfsieb wieder abbekommen könnten.

Die Aufmerksamkeit der Schüler für die Demonstration des Abgautschens, Pressens und Trocknens zu erlangen, erwies sich als einfach, da einige Schüler schon beim Probeschöpfen danach verlangten, ihre Papiervliese zu erhalten und zu Papier weiterzuverarbeiten. Diese Phase konnte also sehr kurz gestaltet werden, zumal ich ja auf die Formulierung und das Aufschreiben der Arbeitsschritte in der Stunde verzichtete (Hausaufgabe). Nachdem die Schüler die Arbeitsschritte ausprobiert hatten, konnten sie mit der Erstellung von Papieren beginnen und taten dies sehr konzentriert und sie brachten, trotz einiger Missgeschicke, sehr brauchbare Ergebnisse zustande. Obwohl ich kurz vor dem Stundenklingeln darauf aufmerksam machte, dass mit dem Aufräumen begonnen werden müsse, tat dies nur eine Gruppe, die anderen arbeiteten weiter bis in die Pause hinein und räumten die Pause über auf, wobei sich nicht ein Schüler beklagte oder murrte. Auch die Hausaufgabe wurde widerspruchlos hingenommen und nur von zwei Schülern nicht angefertigt.

Offenbar ist es gelungen, die Schüler zur Auseinandersetzung mit der Papierherstellung zu motivieren. Das Engagement, ein möglichst gleichmäßiges Papiervlies zu erhalten, war sehr groß. Die Schüler wollten selbständig "ihr" Papier verbessern und sie verlangten geradezu nach dem nächsten Arbeitsschritt, über den sie sich vielfach schon ohne Aufforderung Gedanken machten. So beschrieb eine Schülerin fast vollständig richtig, welche Arbeitsschritte nach dem Schöpfen erfolgen müssten und wie diese aussehen könnten. Aufgrund des Zeitmangels war es leider nicht möglich, dass dies alle Schüler selbständig erarbeiteten. Ich denke nach Bereitstellung der entsprechenden Materialien hätten die Schüler dies in einer Doppelstunde durchaus leisten können.

Als günstig erwiesen sich auch die Unterbrechungen, in denen die Ergebnisse gesammelt und die entsprechenden Arbeitsschritte beschrieben wurden. So konnten die Schüler nachher, als sie die

Arbeitsschritte hintereinander durchführen sollten, nachlesen, welcher Arbeitsschritt wann und wie durchgeführt wird. Durch diese Unterbrechungen konnte auch sichergestellt werden, dass kein Schüler den roten Faden verliert und deshalb nicht weitermachen kann. Alle sechs Schülergruppen hatten am Ende mindestens drei Papiere erstellt. Eine der Gruppen, die noch in die Pause hinein gearbeitet haben, brachten es sogar auf 6 Bogen. Beim Aufräumen der Materialien fragten mich schon einige Schüler, wie denn die braune Färbung der Papiere beseitigt werden kann und ob wir dies auch noch durchführen.

Dies zeigt die hohe, in den folgenden Stunden anhaltende Motivation der Schüler, ihre Papiere zu verbessern: Der Aufforderungscharakter des Unterrichtsgegenstandes wird klar. Hier zeigt sich auch, dass noch Schüler der Oberstufe Spaß an Unterrichtsergebnissen haben, die man anfassen, vorführen oder mit nach Hause nehmen kann. Eine Schülerin schlug am Ende der Stunde schon vor, die Papiere noch stärker zu pressen oder zu bügeln, um die rauh erscheinende Oberfläche zu glätten. Hier bietet sich auch stets ein guter Übergang zur nächsten Stunde, wenn die Papiere getrocknet sind und von den Schülern begutachtet werden. Die Schüler monierten an dem in dieser Stunde hergestellten Papier vor allem die braune Färbung, die unebene, ungleichmäßige Struktur und die rauhe Oberfläche und machten Vorschläge, um diese Mängel zu beseitigen. Da Papierherstellung mitunter bereits in der Grundschule durchgeführt wird, könnte sich der Verdacht aufdrängen, dass Schüler einer 11.Klasse damit unterfordert würden. Das war angesichts der weitgehend selbständigen Erarbeitung möglichst vieler Arbeitsschritte und der damit verbundenen und darüber hinaus gehenden kognitiven Auseinandersetzung sicher nicht der Fall, wie die während der Erarbeitung auftauchenden Probleme und Fragen zeigten. In dieser Stunde dominierte ein gelungenes Zusammenspiel von kognitiver und praktischer Arbeit mit seinen bereits dargestellten Vorzügen.

3. Planung und Analyse der sechsten Stunde "Füllstoffe im Papier"

1. Lernziele:

Grobziel:

Die Schüler kennen den Zusatz von Füllstoffen als Möglichkeit zur Verbesserung der Papierqualität und stellen Papiere mit unterschiedlichem Füllstoffgehalt zum Ermitteln der optimalen Füllstoffkonzentration her.

Feinziele:

Die Schüler können ...

1. ... anhand der in der letzten Stunde gezeigten Dias (mikroskopische Aufnahmen von Papier) den Zusatz von Füllstoffen zur Fasersuspension fordern und notwendige Eigenschaften der Füllstoffe nennen.
Sie nennen Farbneutralität oder weiße Färbung und feine Konsistenz der Füllstoffe.
2. ... weitgehend selbständig einen Versuch zur Überprüfung der optimalen Füllstoffkonzentration im Papier entwickeln.
Sie nennen, dass man Papiere mit unterschiedlichen Füllstoffkonzentrationen herstellen kann und anschließend die Papierqualität bewertet.
3. ... weitgehend selbständig das in der 4.Stunde erarbeitete Prinzip der Papierherstellung anwenden, indem sie ohne weitere Anleitungen Papiere mit unterschiedlichen Füllstoffgehalten herstellen.

Sie führen die Bearbeitungsschritte der Papierherstellung selbständig durch.

1. Verlaufsplanung:

Phase/Zeit	Geplantes Lehrerverhalten	Erwartetes Schülerverhalten	Aktionsform Medien

<p>Einstieg 10'</p>	<p>L. erinnert an die Dias der letzten Stunde (mikroskopische Aufnahmen verschiedener Papiere) und fragt, womit die Eigenschaften des selbst hergestellten Papiers verbessert werden können. L. demonstriert Proben von Gips und Titandioxid als mögliche Füllstoffe. L.: "Nennen Sie Eigenschaften, die die Füllstoffe aufweisen sollten". (ggf. Demonstrationsmodell: Seilstücke als Cellulosefasern und Zugabe unterschiedlich großer Kugeln in einer pneumatischen Wanne) L. schreibt die geforderten Eigenschaften an die Tafel</p>	<p>S. nennen Zusatz von Füllstoffen. S. nennen Farbneutralität bzw. weiße Farbe der Füllstoffe, um die Papierfärbung nicht negativ zu beeinflussen, feine Konsistenz der Füllstoffe, um die Faserzwischenräume auszufüllen.</p>	<p>UG Tafe 1</p>
<p>Erarbeitung I 5'</p>	<p>L.: "Überlegen Sie, wie man herausfinden kann, wieviel Füllstoffe wir zu der Fasersuspension zugeben müssen, um eine möglichst gute Papierqualität zu erhalten." L. verteilt AB.</p>	<p>S. nennen Austesten verschiedener Füllstoffkonzentrationen, um die optimale zu ermitteln. S. lesen die "Wirkungsweise der Füllstoffe" und tragen die präsentierten Füllstoffe und die Eigenschaften der Füllstoffe in den AB ein.</p>	<p>UG AB</p>
<p>Erarbeitung II 30'</p>	<p>L. stellt die Materialien zur Herstellung der Papiere zur Verfügung und bittet die S. zu beginnen. L. steht für Fragen zur Verfügung.</p>	<p>S. stellen Papiere mit unterschiedlichen Füllstoffkonzentrationen her.</p>	<p>Versuchs- materialien (S.- Vers uch)</p>

2. Methodisch-Didaktische Überlegungen:

Zu Beginn der Stunde wird an die in der letzten Stunde gezeigten Dias (mikroskopische Abbildungen von füllstoffhaltigem und füllstofffreiem Papier) angeknüpft. Diese Dias werden aus zwei Gründen nicht in dieser, sondern in der vorherigen Stunde gezeigt. Erstens wird in dieser Stunde wieder Papier hergestellt, wobei die Schüler viel Platz benötigen und viel durch den Raum laufen (Abholen des Arbeitsmaterials, Papiervliese zum Trocknen aufhängen, ggf. Faserbrei nachholen). Der Dia-Projektor kann in diesem Raum nur auf die Wasserhähne der letzten Bankreihe gestellt werden und hat hier eine sehr wackelige Position. Zweitens würde die Zeit für die Papierherstellung in der Stunde knapp durch die notwendige Verdunkelung, Diskussion der Abbildungen und Abbauen des Projektors (wegen der oben beschriebenen räumlichen Situation).

Anschließend sollen die Schüler vermuten, welche Eigenschaften die Füllstoffe aufweisen sollten. Dafür werden an dieser Stelle die Füllstoffe Gips und Titandioxid als stummer Impuls präsentiert. Die Schüler sollten auf die weiße Färbung kommen, da in der letzten Stunde durch Bleichung die braune Färbung der Fasern beseitigt und damit der Weg zu weißem Papier eingeschlagen wurde. Des Weiteren könnten die Schüler auf eine möglichst feine Konsistenz der Füllstoffe kommen. Ist dies jedoch nicht der Fall, kann ein Modellversuch als stummer Impuls die Schüler zu dieser Vermutung führen. Dieser Versuch (in eine pneumatische Wanne mit Sisalstricken werden unterschiedlich dicke Kugeln gegeben) soll den Schülern vor Augen führen, dass die Füllstoffe die kleinen Faserzwischenräume ausfüllen sollen, wofür sie eine feine Konsistenz haben müssen.

Für die anschließenden Versuche wird Gips verwendet, da das Titandioxid in Wasser zur Klümpchenbildung neigt und Gips wesentlich billiger und leichter zu beschaffen ist.

Die Frage nach der Ermittlung der optimalen Füllstoffmenge soll die Schüler dazu anregen, sich kognitiv mit dem Thema auseinanderzusetzen und Vorschläge zur

experimentellen Überprüfung zu unterbreiten. Die Schüler werden voraussichtlich vorschlagen, dass man Papiere mit unterschiedlichem Füllstoffgehalt schöpft und anschließend deren Beschreibbarkeit austestet. Die für eine solche Unterrichtsphase typische Dialektik von Schüleraktivität und Führung durch den Lehrer wurde bereits bei den Ausführungen zur ersten Stunde der Unterrichtsreihe angesprochen.

Anschließend sollen die Schüler Papiere mit unterschiedlichen Füllstoffgehalten schöpfen. Hierbei stellt sich, wie in den anderen Stunden, in denen Papier hergestellt wird, das Problem, dass die Papiere erst nach der Trocknung (am nächsten Tag) auswertbar sind. Allerdings dauert das Schöpfen der Papiere, mit der vorhergehenden theoretischen Betrachtung, so lange, dass die Auswertung ohnehin in dieser Stunde nicht mehr durchgeführt werden kann. Die Motivation der Schüler für den Umgang mit ihren eigenen Papieren dürfte problemlos bis zur nächsten Stunde anhalten.

Dieses Problem ergibt sich in jeder Stunde. Da die praktische Arbeit sehr lange dauert, muss die Theorie, die ja zum Verständnis notwendig ist und die kognitive Ergänzung zur jetzt schon geübten praktischen Handlung ist, recht kurz gefasst werden. Deshalb setze ich hier einen Arbeitsbogen mit Lückentext, einer Versuchsanleitung und einer vorgefertigten Tabelle für die Auswertung ein.

Die theoretische Betrachtung erfolgt nicht, wie man es vielleicht erwarten würde, nach dem motivierenden Handlungsteil, sondern zu Stundenbeginn, da es sehr schwierig ist, die Schüler nach der praktischen Arbeit zur Ruhe zu bekommen. Außerdem ist der Arbeitsplatz häufig noch nass und das Aufräumen der Geräte zum Papierschöpfen dauert einige Zeit. Zudem haben die Schüler so die Möglichkeit, ggf. noch in die Pause hinein zu arbeiten oder erst dann die Geräte wegzuräumen. Die rege Schülerbeteiligung der vergangenen Stunden lässt erwarten, dass die Schüler angesichts der Aussicht auf das Papierschöpfen den Theorieteil so kurz wie möglich gestalten.

3. Durchführung und Analyse der Stunde:

Die Stunde verlief weitgehend erwartungsgemäß. Zu Beginn der Stunde wurde an die in der letzten Stunde gezeigten Dias erinnert, auf denen die Schüler bei einem "fertig gekauften" Papier kleine, körnige Strukturen zwischen den Fasern erkennen, die bei einem anderen Papier (selbst hergestelltes Papier ohne Füllstoffe) nicht zu erkennen sind, und die Frage gestellt, wie die bislang bemängelten Eigenschaften des selbst hergestellten Papiers beseitigt werden könnten. Die Schüler nannten die Zugabe von Stoffen, die die Zwischenräume zwischen den Cellulosefasern füllen und somit die Papieroberfläche glätten könnten.

Anschließend habe ich Proben zweier möglicher Füllstoffe, Titandioxid und Gips, demonstriert und nach den notwendigen Eigenschaften von Füllstoffen gefragt. Die Schüler nannten Farbneutralität und, auf einen kurzen Hinweis auf die weiße Farbe des Papiers, die weiße Färbung der Füllstoffe zur Unterstützung der weißen Färbung des Papiers. Auf die notwendige Feinheit der Füllstoffe kamen die Schüler nicht, woraufhin ich als Hilfsimpuls den Modellversuch durchführte: Zugabe unterschiedlich großer Kugeln (=Füllstoffe) in eine pneumatische Wanne mit dickeren Hanfstricken (=Cellulosefasern). Hierauf nannten die Schüler die Notwendigkeit einer feinen Konsistenz der Füllstoffe, um die Faserzwischenräume gut ausfüllen zu können. Auf die Frage, wie man den optimalen Füllstoffgehalt feststellen kann, nannten die Schüler erwartungsgemäß die Herstellung von Papieren mit unterschiedlichen Füllstoffgehalten und eine anschließende Bewertung der Papierqualität und Beschreibbarkeit.

Die Mitarbeit der Schüler war, wie erwartet, rege. Die Notwendigkeit des Modellversuchs zeigt, dass auch bei älteren Schülern abstrakte Denkvorgänge über noch unbekanntes konkreter (hier optischer) Stützen bedürfen. Anschließend gab ich den Schülern lediglich vorher abgewogene Füllstoff- und Retentionsmittelprouben und forderte sie auf, zu beginnen. Die Schüler begannen nun unverzüglich und selbständig mit der Herstellung der Papiere. Bis auf einzelne Nachfragen (z.B. fragte ein Schüler: "Muß ich erst das Retentionsmittel und dann die Füllstoffe zugeben oder umgekehrt?") waren die Schüler in der Lage, die Papierherstellung ohne weitere Besprechung

durchzuführen, was ein Zeichen für die Verinnerlichung des Handlungsablaufes der Papierherstellung durch die Schüler ist. Hierbei ist zu bedenken, dass die Schüler die Papierherstellung nur in der vorletzten Stunde der Unterrichtsreihe durchgeführt haben. Das sehe ich als Indiz dafür an, dass das, was einmal praktisch durchgeführt wurde, besser behalten und verinnerlicht wird, als das, was nur theoretisch durchgesprochen wurde.

Die Motivation der Schüler, ein möglichst hochqualitatives Papier zu erstellen, war hierbei sehr hoch. Eine Gruppe fragte mich, ob sie denn im Bereich der optimalen Füllstoffkonzentration liegt, da sie Zweifel hätten, weil sie ja die höchste ausprobieren sollten. Sie vermuteten daher, dass diese sicherlich nicht die optimale sein wird. Dies wiederum ist einerseits ein Indiz dafür, dass die Schüler die Versuche nicht einfach nur gedankenlos ausführten, sondern kognitiv beteiligt waren und andererseits zeigt es, dass sich die Schüler mit dem selbst hergestellten Produkt "identifizieren" und dieses möglichst optimieren möchten. Als ich der Gruppe ihre Bedenken bestätigte, bat sie mich, nach der Herstellung einiger Papiere mit dieser Füllstoffkonzentration noch andere mit einer ungefähr optimalen Füllstoffkonzentration erstellen zu dürfen, was ich auch zuließ. Diese Gruppe arbeitete noch mit großem Ehrgeiz bis weit in die Pause hinein.

Zwei sonst nur schwer zu motivierende und wenig Beteiligung zeigende Schüler fragten, ob sie nicht auch Papiere mit Titandioxid als Füllstoff herstellen könnten, da dies heller weiß erscheine und auch eine Möglichkeit zum Vergleich der Füllstoffe Gips und Titandioxid zulassen würde. Hierauf gab ich den Schülern die Anweisung eine entsprechende Menge an Titandioxid und Retentionsmittel abzuwiegen und dies auszuprobieren, was diese Gruppe auch mit großem Ehrgeiz durchführte. Das Ergebnis ist jedoch, wie ich vorher aufgrund eigener Versuche erwartet hatte, nicht besonders gut, da sich das Titandioxid im Wasser nur sehr schlecht homogen verteilen lässt. Bemerkenswert ist hier nicht nur, dass auch leistungsschwächere Schüler ein großes Interesse zeigten, ihr Papier in möglichst hoher Qualität herzustellen, sondern auch ihre genaue Beobachtung an den Füllstoffen und die Idee des Vergleichs der Füllstoffwirkungen.

Das gerade diese sonst eher leistungsschwachen Schüler hier besonderen Ehrgeiz entwickelten, ist meines Erachtens einerseits auf den handelnden Umgang mit der Sache und andererseits auf den sicht- und anfassbaren Handlungserfolg zurückzuführen. Die leistungsfördernde Wirkung von positiven Gefühlen und Handlungserlebnissen wurde von Vester belegt (siehe Teil II). Zudem konnten die Schüler hier ohne großes Vorwissen eine beachtliche eigene Leistung zeigen, was ihnen sonst, da sie den früher behandelten Stoff oft nicht parat haben, nicht oder nur schwer möglich ist. Die Schüler haben in diesem Unterricht die Möglichkeit, aus diesem "Teufelskreis" des Misserfolges (leistungshemmend) wieder auszubrechen.

Beachtlich war die ausgesprochene Selbständigkeit der Schüler in dieser Stunde. Wie schon oben beschrieben, hatten die Schüler keine Probleme, ohne weitere Erläuterungen die Papierherstellung durchzuführen. Zwei Gruppen haben selbständig, trotz der knappen Zeit, einen weiteren Versuchsansatz (eine Gruppe den anderen Füllstoffgehalt, die andere den anderen Füllstoff Titandioxid) selbst durchgeführt und sich die Materialien hierfür selbst ausgewogen, was sie vorher meines Wissens noch nie gemacht hatten. Beide Gruppen haben praktisch die gesamte große Pause hindurch noch Papiere geschöpft und anschließend noch ihren Arbeitsplatz aufgeräumt. Die Schüler haben in diesem Unterricht offenbar mehr Handlungskompetenz und Selbstbewusstsein erworben.

Anstatt die Schüler zu Beginn der Stunde an die Bilder aus der letzten Stunde zu erinnern, wäre es auch möglich, die Dias direkt in dieser Stunde zu zeigen. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass die Erläuterung und Besprechung der Bilder eine nicht zu unterschätzende Zeit dauert, die dann in dieser Stunde beim Schöpfen der Papiere fehlt. Ich habe nicht damit gerechnet, dass die Schüler die Papierherstellung so problemlos durchführen können und habe mehr Rückfragen und Probleme erwartet. Das dies nicht aufgetreten ist, liegt möglicherweise auch an dem Arbeitsbogen, den ich mit den Schülern zur Papierherstellung in der 4. Stunde der Reihe erarbeitet habe, in dem alle Bearbeitungsschritte dargestellt und kurz beschrieben sind, so dass

die Schüler stets darauf zurückgreifen konnten.

Auch in dieser Stunde waren die Schüler an der Planung des Versuchs beteiligt und konnten später ihre Versuchsansätze noch modifizieren (andere Füllstoffkonzentration, bzw. anderer Füllstoff).

Durch die enge Verknüpfung des Handelns (Papierschöpfen) und der Kopfarbeit (Theorie der Füllstoffe) ist die Motivation der Schüler für die theoretische Betrachtung des Papiers stets recht hoch, was sich in der recht hohen Mitarbeit der Schüler und insbesondere der Beteiligung ansonsten leistungsschwächerer Schüler auch bei der theoretischen Erarbeitung zeigt.

4. Gesamreflexion

Die Unterrichtsreihe verlief weitgehend wie geplant, wobei sich die besondere Berücksichtigung der Prinzipien der Handlungsorientierung und ihre vielfache Umsetzung als erfolgreich erwiesen haben. Der Aufforderungscharakter des der Erfahrungswelt der Schüler entnommenen Gegenstandes "Papier", die handelnde und dennoch kognitiv anspruchsvolle Auseinandersetzung mit ihm und das eigene anfass- und vorzeigbare Handlungsprodukt wirkten auf die meisten Schüler sehr motivierend. Das gilt auch für Schüler, die sich ansonsten eher wenig am Unterricht beteiligen. Dies wertete ich gerade in der elften Klasse als großen Erfolg, da das Bestreben der Schüler nach guten Noten in dieser Übergangsphase zur gymnasialen Oberstufe meines Erachtens eher gering ist, da es hier für viele Schüler nur auf eine Versetzung ankommt.

Die hohe Motivation der Schüler für dieses Thema zeigte sich schon beim Bau der Schöpfrahmen. Hierfür stellte mir ein Kunstreferendar eine Doppelstunde in der sechsten und siebten Stunde zur Verfügung. Ich hatte einige Bedenken, ob die Schüler es schaffen könnten in einer Doppelstunde, zumal der sechsten und siebten Stunde, die erforderlichen sieben Schöpfrahmen zu bauen. Hinzu kommt, dass die Schüler in praktischen Arbeiten dieser Art keine Übung hatten. Zu Beginn der ersten Stunde gab ich die Bauanleitung (siehe Abbildung 5) an die Schüler aus, besprach diese und erläuterte den Schülern die Vorgehensweise. Ich zeigte ihnen Muster, erläuterte ihnen den Umgang mit den Werkzeugen und teilte ihnen mit, dass für alle zusammen nur zwei Sägen, zwei Tacker und nur eine Bohrmaschine zur Verfügung stünden. Daraufhin begannen die Schüler selbständig Gruppen zu bilden und die Arbeiten zu verteilen.

Während also einige die bereitgestellten Leisten vermaßen, begannen andere mit dem Zusägen, wieder andere schnitten den Filz zu und die letzte Gruppe schnitt die selbst abgemessenen Gitter zu. Bei dieser Arbeitsteilung musste ich lediglich darauf achten, dass die Schüler ihre Aufgaben auch wechselten. Auffallend war, dass die Mädchen zunächst das Zuschneiden des Filzes und des Gitters für das Schöpfsieb übernahmen und erst später den Mut fanden zum Leisten Zusägen und Gitter auf die Schöpfrahmen Tackern. Eine Mädchengruppe setzte die Schöpf- und Aufsetzrahmen fachgerecht zusammen. Die Gruppen organisierten ihre Arbeiten ohne weitere Anweisung so gut, dass am Ende nur ein minimaler Verschnitt an Holz, Gitter oder Filz zu verzeichnen war. Man hätte die Ausnutzung der Materialien nicht besser organisieren oder vorschreiben können. Auch wurden nicht mehr Leisten zugesägt, als benötigt wurden.

Die Motivation der Schüler war so hoch, dass sie nicht nur die Pause zwischen der sechsten und siebten Stunde durcharbeiteten, obwohl ich sie auf die Pause hinwies, sondern es blieben auch nach Unterrichtsende noch etwa zwei Drittel der Schüler dieses Kurses da, um die letzten Schöpfrahmen fertigzustellen, obwohl ich ihnen angeboten hatte, dies zusammen mit ihrem Kunstlehrer zu übernehmen.

Diese hohe Motivation erkläre ich mir mit dem enormen Spaß der Schüler an der praktischen Arbeit und ihrem Interesse daran, selbst Papier schöpfen zu können. Diese hohe Motivation zog sich praktisch durch die gesamte Unterrichtsreihe. Sie erwies sich auch als tragfähig für die eingestreuten Theoriestunden, in denen die Mitarbeit der Schüler und insbesondere auch die der eher leistungsschwächeren Schüler, auch nach Ansicht des sonst unterrichtenden Chemielehrers, ausgesprochen hoch war. Die Schüler hatten viele Möglichkeiten zum praktischen Arbeiten und

erzielten Unterrichtsergebnisse, die sie anfassen konnten. Der Eifer der Schüler, ihr Papier nach jedem Arbeitsschritt weiter zu verbessern, mag auch aus den an den Papieren ablesbaren Fortschritten resultieren.

Des Weiteren waren die Schüler stark an der Planung, Durchführung und Auswertung des Unterrichts beteiligt, indem sie selbst die Mängel an den hergestellten Papieren nannten und hierfür Verbesserungsvorschläge machten. Gleichzeitig hinterfragten die Schüler, was sie praktisch erarbeitet hatten. So fragte mich ein Schüler nach der vierten Stunde, wie denn die Cellulosefasern aneinander haften würden, so dass ein Papierbogen entstehen könnte. Daraufhin habe ich in der nächsten Stunde einen kurzen Einschub mit einem Arbeitsbogen gegeben, in dem der Zusammenhalt der Cellulosefasern durch die Wasserstoffbrückenbindungen erarbeitet werden konnte. Würde ich diese Reihe wieder durchführen, so würde ich diesem Punkt mehr Beachtung schenken und nach der vierten Stunde behandeln.

Es ist also mit dieser Unterrichtsreihe zum Thema "Papier" gelungen, einen Unterrichtsgegenstand zu finden, der für die Schüler einen starken Aufforderungscharakter hat. Dieser Lerngegenstand strukturierte dabei den Unterricht so nachhaltig über die zu erzielenden Handlungsergebnisse und die damit verbundene kognitive Wissensvermittlung, dass die Forderungen der Schüler an den Unterricht (vor allem die Optimierung des Papiers) im Wesentlichen im Einklang mit der Unterrichtsplanung standen. Durch die Schüler entwickelte Ideen blieben stets so im Rahmen der Planung, dass sie ohne großen Aufwand berücksichtigt werden konnten. Zudem scheint die für einen handlungsorientierten Unterricht geforderte Einheit von Kopf- und Handarbeit diesem so inhärent zu sein, dass engagierte Schüler den kognitiven Anteil entsprechend ihrer Leistungsstärke durch Ideen und Fragen selbst anhoben. Der Unterricht orientierte sich also trotz seiner Vorplanung stets an den Interessen der Schüler und so erweist sich dieses Thema meiner Meinung nach als besonders günstig für den Einstieg in den handlungsorientierten Unterricht.

Bemerkenswert fand ich, dass die Schüler die Schritte zur Papierherstellung (4.Stunde) so rasch und gut erarbeitet haben, dass sie diese in den weiteren Stunden zur Papierherstellung vollkommen selbständig durchführen konnten, und sie konnten dies auch immer rascher. Die vierte Stunde stand ganz zur Herstellung von Papieren zur Verfügung, wobei sich die Schüler hier zusätzlich die Arbeitsschritte selbständig erarbeiten mussten. In der sechsten Stunde dagegen habe ich den Schülern nur noch das Material zur Verfügung gestellt und die Schüler gebeten, mit der Papierherstellung zu beginnen. Obwohl die Schüler durch die vorhergehende theoretische Erarbeitung nur noch etwa 30 Minuten Zeit hatten, wurden in jeder Gruppe mindestens vier Papiere hergestellt. Noch stärker zeigte sich der Effekt in der achten Stunde. Hier standen den Schülern aufgrund der vorherigen theoretischen Erarbeitung der Papierherstellung aus Altpapier nur noch etwa 20 Minuten zur Verfügung. Doch durch die weitere Verinnerlichung und Übung des Handlungsablaufes stellte auch hier jede Gruppe mindestens drei Papierbogen her.

Meine Entscheidung, in der Unterrichtsreihe mehrere Schritte der Papierveredelung zusammenzufassen (Bleichen und Füllstoffzusatz) und nicht bei jedem Schritt Papiere der jeweiligen Qualität schöpfen zu lassen, erwies sich als richtig. Die mehrfache Wiederholung des Papierschöpfens /-pressens /-trocknens führte zu einer Automatisierung des Handlungsablaufes, so dass bei einigen Schülern in der 13. Stunde der Reihe, in der die Schüler in der letzten Stunde vor den Osterferien noch Papiere für den Kunstunterricht schöpfen konnten, das Interesse daran bereits nachgelassen hatte. Dies mag durch das Fehlen einer kognitiven Anforderung, also neuen Wissenserwerbs, in dieser Stunde verstärkt worden sein. Bei einigen Mädchen war das Interesse an der Papierherstellung jedoch nach wie vor so groß, dass sie auch zu Hause einen Schöpfrahmen bauen und Papier herstellen wollten. Inwieweit dies umgesetzt wurde, weis ich jedoch nicht. Durch die Einfachheit der Materialien ist es jedoch völlig problemlos möglich, die Papierherstellung zu Hause zu praktizieren.

Insgesamt resümiere ich, dass eine thematische Erweiterung der Reihe nicht sinnvoll wäre.

Jedoch wäre eine Verlängerung auf Doppelstunden bei der Papierherstellung wünschenswert gewesen, da die Zeit zur selbständigen Erarbeitung, wie in den Stundenreflexionen dargestellt, stets sehr knapp war.

Den Aspekt der Umweltbelastung durch die Papierherstellung habe ich recht ausführlich behandelt, was jedoch auf mehrere Stunden des jeweils entsprechenden Themas verteilt geschah (Bleichen mit Chlor/Sauerstoff, Recyclingpapier, Deinken, Umweltbelastungen bei der industriellen Papierherstellung). So bekamen die Schüler nicht das Gefühl, eine "Gardinenpredigt" in Sachen Umweltschutz über sich ergehen lassen zu müssen, an deren Ende ohnehin niemand sein Verhalten ändert. Ich habe die Schüler anhand von Quellen selbst Widersprüche in den Aussagen des Verbandes Deutscher Papierfabriken (VDP) aufdecken lassen. Hierdurch erkannten die Schüler selbst, wie versucht wird, durch Statistiken die Verbraucher zu täuschen. Hier habe ich mich bemüht, Zahlen zu verwenden, die entweder vom VDP selbst oder vom Umweltbundesamt herausgegeben wurden, da Quellen, wie z.B. Greenpeace, häufig mit Misstrauen begegnet wird. Zudem erfuhren und verinnerlichten die Schüler die Aspekte des Rohstoffverbrauchs und der Abwasserbelastung im eigenen Handeln.

Hier ist zumindest bei einigen Schülern eine Verhaltensänderung in Richtung Umweltpapierverwendung gelungen. Einige Hausarbeiten, die ich eingesammelt hatte, wurden auf Altpapier geschrieben, und zwar von Schülern, die mir zu Beginn der Reihe Hausaufgaben auf normalem, weißem Papier abgegeben hatten. Insgesamt haben sich die Schüler sehr intensiv mit der Umweltproblematik auseinandergesetzt, so fand z.B. eine rege Diskussion statt, weshalb denn Recyclingpapier teurer wäre als neues, weißes Papier, obwohl doch erstens Altstoff verwendet wird, und zweitens die Bearbeitungsschritte zur Herauslösung des Lignins entfallen.

Zusammenfassend kann ich feststellen, dass die Schüler nicht nur die praktische Herstellung des Papiers erlernt und geübt haben, sondern mit dieser praktischen Handlung auch ein umfangreicher Wissenserwerb bezüglich der Papierrohstoffe, ihrer Chemie, ihrer Eigenschaften im Papier und der Umweltaspekte höchst gedächtniswirksam stattfand.

Die Wandzeitung haben die Schüler vollkommen selbständig angefertigt. Dabei traten nur sehr wenige Nachfragen oder Fehler auf, was ich als Indiz dafür werte, dass durch die Verflechtung von praktischem Handeln und kognitiver Erarbeitung die Behaltensleistung der Schüler sehr hoch war. Bei der Erstellung haben die Schüler diskutiert, welche Themen dargestellt werden sollten und diese anschließend untereinander aufgeteilt. Dabei musste ich jedoch eingreifen, weil sonst die unbeliebten Themen, wie Aufbereitung des Zellstoffes, auf bestimmte zurückhaltendere Schülergruppen gefallen wären. Ich schlug ein Losverfahren vor, das anschließend erfolgreich durchgeführt wurde. Mein Eingreifen beurteile ich als in diesem Fall notwendige Lehrerführung hin zu einer demokratischen Handlungskompetenz der Schüler. Die Erstellung der Wandzeitung in nur zwei Stunden war nur dadurch möglich, dass die Schüler in der ersten Stunde den notwendigen Text und die Abbildungen festlegten und als Hausaufgabe zur nächsten Stunde die Texte vorbereiteten, indem sich die jeweilige Gruppe nach der Schule traf und diese Texte erstellte. So musste in der zweiten Stunde nur noch die Wandzeitung selbst erstellt werden. Auch diesmal war das Engagement, dieses Handlungsergebnis für die Öffentlichkeit zu erstellen, groß. Da die Wandzeitung auf Wunsch der Schüler ("Draußen wird die nur kaputt gemacht") in den Chemieräumen hängen musste, zeigte sich offensichtlich, wie andere Schüler vor und nach, und natürlich auch während des Unterrichts, die Wandzeitung mit Interesse lasen. Die Schüler der Parallelklasse der 11c, die bei dem gleichen Lehrer Unterricht in Chemie haben, und die ich z.T. im Profilkurs Biologie unterrichtete, haben sich bei mir bitter darüber beklagt, dass sie "so etwas tolles" nicht machen würden.

Insgesamt war also die Motivation der Schüler und ihre aktive Beteiligung (kognitiv, pragmatisch und affektiv) bei dieser Unterrichtsreihe überdurchschnittlich hoch. Die Schüler haben sehr gute Resultate erzielt und es traten nur sehr wenig Disziplinprobleme auf, d.h. wenige Ermahnungen, wenig Mühe für Ruhe zu sorgen oder eine konzentrierte Arbeitsatmosphäre zu schaffen. So gab es im Gegensatz zu meinen Erfahrungen mit anderen Klassen keine Probleme

mit dem Tragen der Schutzbrillen (Bei dem Versuch zum Bleichen der Cellulosefasern). Während der gesamten Stunde musste kein Schüler ermahnt werden, seine Schutzbrille aufzusetzen. Es kamen im Vergleich zu anderen Stunden selten Schüler zu spät in den Unterricht.

Die Schüler hatten aufgrund der zahlreichen Aktionsmöglichkeiten offenbar keinen Drang zu stören (Selbstaktivierung durch das durch die Klasse Laufen o.ä.) und konnten so die notwendige Konzentration und Leistungsbereitschaft für die kurz gehaltenen Theoriephasen aufbringen.

Abschließend darf ich im Einklang mit den Schülern festhalten, dass die Unterrichtsreihe ein Erfolg war und ich ihre Wiederholung, angepasst an die jeweilige Schülergruppe, nur empfehlen kann.

V. Literatur

- Arnheim, K. et al: Herder-Lexikon der Biologie - Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford 1994
- Asselborn, W. et al: Chemie heute-Sekundarbereich II - Schroedel, Hannover, 1998
- Beyer, H., Walter, W.: Lehrbuch der organischen Chemie - Hirzel, Stuttgart 1991
- Falbe, J. & Regnitz, M.(Hrsg.): Römpp Chemie Lexikon - Thieme, Stuttgart, New York 1995
- Götsching, L. (Hrsg.): Papier in unserer Welt. Ein Handbuch, Düsseldorf 1990
- Greenpeace (Hrsg.):
 - Greenpeace Spezial Papier, August 1993
 - Greenpeace Argumente Papier, Hamburg 1991
 - Greenpeace Spezial Wald, Hamburg 1993
- Großmann, H. et al: Daten zur Altpapieraufbereitung - Umweltbundesamt, 1994
- Initiative für Umwelt und Papier (IUP, Hrsg.):
 - Der Wald heute, Bonn 1996
 - Papier. Es gibt nichts besseres, Bonn o.D.
- Mothes, H. & Ledig, M.: Chemie I in Unterrichtsbeispielen - Aulis, Köln 1970
- Sitte, P. et al: Stassburger Lehrbuch der Botanik - G. Fischer, Stuttgart u.a. 1991
- Riedel, E.: Anorganische Chemie - de Gruyter 1990
- Uni-Bielefeld: www.dc2.uni-bielefeld.de/dc2/papier
- Unterricht Chemie: Papier, Heft 29, 6. Jahrgang, September 1995

Literatur zur Theorie des Handlungsorientierten Unterrichts:

- Aebli, H.: Denken: Das Ordnen des Tuns. 2 Bde., Stuttgart 1980/81
- Jank, W. & Meyer, H: Didaktische Modelle. 4. Aufl., Frankfurt/M. 1997
- Meyer, H.: Unterrichtsmethoden II. Praxisband. 6. Aufl., Frankfurt/M. 1994
- Möller, K.: Lernen durch Tun, Frankfurt/M. 1987
- Schmidt, R. F. & Thews, G.: Physiologie des Menschen - Springer, Berlin u.a. 1995
- Schmitz, K.: Geschichte der Schule – W. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin u.a. 1980
- Vaupel, D.: Handeln und Lernen in der Sekundarstufe, Weinheim 1997
- Vester, F.: Denken, Lernen, Vergessen. 7. Aufl., Stuttgart 1981
- Wimmel-Steger, E. M.: Handeln als Grundform des Lernens, Hildesheim 1986

VI. Anhang:

1. Proben verschiedener hergestellter Papiere

2. Darstellung der von den Schülern erstellten Wandzeitung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Prüfungsarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Berlin, den 18. Juni 1999
