

Entwicklung und Evaluation
von Lernzyklen zum Thema
„Maßgeschneiderte Polymere“
im Rahmen der Konzeption
Chemie im Kontext

Eine zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Pädagogik

dem Fachbereich der

Universität Dortmund

vorgelegte

Dissertation

von

Angela Köhler-Krützfeldt

Erstgutachter: Prof. Dr. Bernd Ralle

Zweitgutachter: Prof. Dr. Heinz Schmidkunz

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit von September 1998 bis Juli 2001 im Fachbereich Chemie der Universität Dortmund unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Bernd Ralle.

Herrn Prof. Dr. Bernd Ralle gilt mein aufrichtiger Dank für die interessante Themenstellung und die hervorragende Betreuung bei der Arbeit, die ich als intensiv, konstruktiv und überaus anregend empfunden habe und bei der die räumliche Distanz Berlin-Dortmund aufgrund seines Engagements keine Rolle spielte. Für die Bereitschaft, als Zweitgutachter für die Arbeit zur Verfügung zu stehen, bedanke ich mich bei Herrn Prof. Heinz Schmidkuntz recht herzlich.

Für die Unterstützung bei der technischen Umsetzung der Evaluation und deren Auswertung bedanke ich mich bei Frau Alexandra Wistel, Frau Anke Ayvasky, Herrn Christoph Golbach, Herrn Marius Sieminski und Herrn Stefan Ibold.

Für zahlreiche hilfreiche Gespräche und fachliche Anregungen danke ich meinen Berliner Kollegen Herrn Prof. Klaus Christmann, Herrn Prof. Jürgen Dohrmann und Herrn Prof. Dieter Schlüter.

Ein herzliches Dankeschön möchte ich Frau Carender, Herrn Klaus Hess und Herrn Hans-Georg Ziegler aussprechen für die Möglichkeit der unterrichtlichen Erprobung und Evaluation der Unterrichtseinheit an Berliner Gymnasien.

Last but not least: Ohne die stetige, zuverlässige Unterstützung in sämtlichen Bereichen durch meine Eltern und meinen Mann wäre die Arbeit so nicht möglich gewesen. Vielen herzlichen Dank!

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung und Problemstellung | 3 |
| 2 | Die curriculare Konzeption <i>Chemie im Kontext</i> | 10 |
| 2.1 | Anknüpfungspunkte für <i>Chemie im Kontext</i> | 10 |
| 2.1.1 | Scientific literacy | 10 |
| 2.1.2 | Der Salters Chemistry Course..... | 12 |
| 2.2 | Leitlinien der Konzeption <i>Chemie im Kontext</i> | 16 |
| 2.2.1 | Konstruktivismus | 18 |
| 2.2.2 | Lernen im Kontext..... | 23 |
| 2.2.3 | Der Lernzyklus | 25 |
| 2.2.4 | Methodenvielfalt..... | 26 |
| 3 | Der Gesamtkontext „Kunststoffe nach Maß“ | 38 |
| 4 | Der Lernzyklus „Superabsorbierende Polymere“ | 42 |
| 4.1 | Fachliche Grundlagen..... | 42 |
| 4.1.1 | Darstellung von Natriumpolyacrylat | 44 |
| 4.1.2 | Quellvorgang | 45 |
| 4.1.3 | Industrielle Anwendung..... | 49 |
| 4.2 | Didaktische Aufbereitung..... | 51 |
| 4.2.1 | Tabellarischer Überblick mit didaktischem Kommentar..... | 52 |
| 4.2.2 | Erläuterungen zu den einzelnen Phasen..... | 54 |
| 4.2.3 | Beschreibung der einzelnen Stationen:..... | 57 |
| 4.2.4 | Vertiefung und Vernetzung | 63 |
| 4.2.4.1 | Synthese von superabsorbierenden Polymeren | 64 |
| 4.2.4.2 | Verhalten im elektrischen Feld | 71 |
| 5 | Der Lernzyklus „Leitfähige Polymere“ | 73 |
| 5.1 | Fachliche Grundlagen..... | 73 |
| 5.2 | Didaktische Aufbereitung..... | 81 |
| 5.2.1 | Tabellarischer Überblick mit didaktischem Kommentar..... | 81 |
| 5.2.2 | Erläuterungen zu den einzelnen Phasen..... | 82 |
| 5.3 | Schülerversuche zum Thema „Leitfähige Polymere“ | 86 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 5.3.1 | Beschreibung der Basisversuche | 88 |
| 5.3.2 | Vertiefung und Vernetzung | 92 |
| 6 | Vertiefung und Vernetzung | 97 |
| 7 | Evaluation durch Beobachtung | 102 |
| 7.1 | Ergebnisse der Unterrichtsbeobachtung zum Lernzyklus SAP | 103 |
| 7.2 | Beurteilung durch die Lehrer und Lehrerinnen | 109 |
| 8 | Evaluation durch Fragebögen | 111 |
| 8.1 | Vortests | 112 |
| 8.2 | Stichprobe und Methoden der Hauptuntersuchung | 114 |
| 8.3 | Fragebogen zu einzelnen Experimenten | 114 |
| 8.4 | Fragebogen zur kompletten SAP-Unterrichtsreihe | 115 |
| 8.5 | Statistische Methoden | 118 |
| 8.6 | Kategorisierung von frei formulierten Antworten | 118 |
| 8.7 | Reliabilitätsanalysen | 119 |
| 8.8 | Ergebnisse zu den entwickelten Experimenten | 123 |
| 8.9 | Ergebnisse zur kompletten Unterrichtsreihe | 144 |
| 8.10 | Zusammenfassung und Interpretation | 168 |
| 8.11 | Ergebnisse der Vortests | 170 |
| 9 | Evaluation durch Gruppendiskussion | 174 |
| 9.1.1 | Gruppendiskussionen in der fachdidaktischen Forschung | 180 |
| 9.1.2 | Untersuchungsdesign | 180 |
| 9.1.3 | Explikation des Vorverständnisses | 182 |
| 9.1.4 | Durchführung der Datenerhebung | 183 |
| 9.1.5 | Analyse der Datenerhebung | 186 |
| 10 | Zusammenfassung und Schlussbetrachtung | 200 |
| 11 | Literaturverzeichnis | 206 |
| 12 | Anhang mit Materialien | 220 |
| 12.1 | Materialien zur Unterrichtsreihe SAP | 220 |
| 12.2 | Materialien zur Unterrichtsreihe leitfähige Polymere | 239 |
| 12.3 | Materialien zur Evaluation der Unterrichtsreihe SAP | 252 |
| 12.4 | Materialien zur Vertiefung | 268 |

1 Einleitung und Problemstellung

Analysiert man die gegenwärtige Situation des Chemieunterrichts in Deutschland, so gelangt man in mehreren Bereichen zu negativen Ergebnissen: Zahlreiche empirische Untersuchungen zeigen seit langem, dass die öffentliche Akzeptanz der Wissenschaft Chemie und des Chemieunterrichts äußerst gering ist. In den Untersuchungen von Becker und auch in eigenen Untersuchungen im Rahmen eines Berliner Modellversuchs zur reflexiven Koedukation hat sich herausgestellt, dass zwar großes Interesse am Fach Chemie zu Beginn des Anfangsunterrichts besteht, dieses aber im Laufe der Schulzeit, meist schon in ein, zwei Jahren abnimmt¹.

Interesse in seiner Bedeutung eines überdauernden Bezugs einer Person zu einem Gegenstand, der sich in der aktiven Auseinandersetzung mit diesem Gegenstand äußert², ist ein äußerst komplexer Begriff, der durch viele Parameter bestimmt wird. Daher ist es schwierig, kausale Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern und dem Interesse darzustellen.

Um ein differenziertes und dauerhaftes Wissen erwerben zu können, muss eine interessen geleitete Auseinandersetzung mit dem Lernstoff erfolgen können. Was wird aber nun von den Schülern und Schülerinnen als interessant eingestuft?

Dazu bedarf es einer persönlichen Bedeutsamkeit für die Lernenden³. Diese Bedeutsamkeit bezieht sich auf kognitive und emotionale Aspekte. Lernende sind nicht in der Lage, bedeutungslose Inhalte in ihr bestehendes semantisches Netz einzugliedern. Deshalb müssen die chemischen Inhalte, die in der Schule vermittelt werden sollen, der Interessen- und Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler angepasst werden. Nur so besteht auch für die Lernenden die Möglichkeit eines persönlichen Kompetenzgewinns. Die zu lernenden Inhalte sollten zudem in einem geeigneten Kontext eingebettet sein.

¹ Becker, 1987, Köhler-Krützfeldt, 2001, S. 133

² Prenzel, 1988

³ Kubli, 1987, S. 28

Zudem belegen Studien immer wieder Unterschiede in der Interessenlage von Jungen und Mädchen. Während Jungen vor dem Anfangsunterricht z.B. eher erwarten, im Chemieunterricht mit Hilfe des Computers chemische Versuche auswerten zu können, geben Mädchen signifikant häufiger an, an der gesellschaftlichen Bedeutung der Chemie interessiert zu sein.⁴ Für die Mädchen ist es also eher wichtig, dass im Unterricht Themen angeschnitten werden, die helfen Alltagsphänomene begreifen zu lernen.

Da das Interesse an Inhalten eine wichtige Vorbedingung für erfolgreiches Lernen darstellt⁵, erklärt das häufig mangelnde Interesse auch die geringen Lernerfolge, die sowohl in der TIMSS-Studie als auch bei Gräber festgestellt wurden⁶. Die geringen Erfolge beziehen sich sowohl auf den Umfang des Wissens als auch auf dessen Verankerung und Einbettung in einen größeren Zusammenhang.

„Ein besonderes Problem des naturwissenschaftlichen Unterrichts allgemein, aber auch des Chemieunterrichts stellt die mangelnde inhaltliche Verzahnung der größeren thematischen Einheiten dar. Da die vertikale Vernetzung innerhalb des Faches bislang nicht ausreichend gelungen ist, leidet die Anschlussfähigkeit des erworbenen Wissens.“⁷

Eine weitere Ursache für den fehlenden Lernerfolg scheint auch im mangelhaften Miteinbeziehen der Schülervorstellungen zu liegen.

„Es hat sich gezeigt, dass Unterricht, der die Vorstellungen [der Schüler] ganz bewusst berücksichtigt, erfolgreicher ist.“⁸

In diesem Zusammenhang existieren viele Untersuchungen der fachdidaktischen Forschung, die dokumentieren, mit welchen Fehlvorstellungen die Schüler und Schülerinnen in den Unterricht kommen. Gerade auf diese Fehlvorstellungen muss in geeigneter Weise eingewirkt werden, denn sonst überdauern diese und lassen einen

⁴ Köhler-Krützfeldt, 2000, S. 109

⁵ Krapp, 1992

⁶ Gräber, 1992

⁷ BMBF-Expertise, 1997

⁸ Häußler et al., 1998, S. 182

Wechsel zur wissenschaftlichen Vorstellung nicht zu.⁹ Allerdings zeigt die Forschungslage auch, dass ein bloßes Ersetzen der Alltagsvorstellungen durch eine wissenschaftliche Betrachtungsweise nicht möglich ist, sondern bestenfalls eine Koexistenz von beiden. Daher ist es wichtig, den Schülerinnen und Schülern einsichtig zu machen, dass in bestimmten Situationen die naturwissenschaftlich korrekten Erklärungsmuster sinnvoller sind als die Alltagsvorstellungen¹⁰.

Mangelhaft erscheint auch die Einseitigkeit der im Chemieunterricht eingesetzten Unterrichtsmethoden. Noch immer sind Frontalunterricht, Einzelarbeit bzw. das Lehrer-Schüler-Gespräch die gestaltenden Elemente bei der methodischen Unterrichtsplanung. Aber erst eine Vielfalt der Methoden kann garantieren, dass viele Lernende mit ihren unterschiedlichen Lern- und Denkstrategien erreicht werden¹¹:

„Solange wir mit heterogenen Klassen arbeiten, wird es nicht möglich sein, systematisch auf die Bedürfnisse einer bestimmten Schülergruppe einzugehen, ohne dabei andere Gruppen zu vernachlässigen. Aus diesem Grunde sollten wir versuchen, ein breites Spektrum verschiedener Lehrmethoden in unseren Unterricht einzubauen.“

Die oben beschriebene Situation ist so komplex, dass sie mit einzelnen Maßnahmen wie der Einführung einer neuen Methode oder eines neuen Inhalts nicht nachhaltig geändert werden kann, sondern nur mit einer umfassenden curricularen Änderung des Chemieunterrichts. Aus diesem Grund sind unter Einbeziehung neuester Forschungsergebnisse der Lehr-Lern-Forschung und Erkenntnisse der Curriculumforschung in Arbeitsgruppen um Parchmann und Ralle Ansätze einer neuen Konzeption „Chemie im Kontext“ entwickelt worden.

Ein zentraler Gesichtspunkt dieser Konzeption sind aktuelle, alltagsbezogene Fragestellungen, die in ihrer (komplexen) Umgebung belassen werden. Dieser Kontext soll zudem von allgemeiner Bedeutung sein und Forschungsrelevanz aufweisen. Jeder Kontext soll es ermöglichen, fachsystematische Inhalte zu vermitteln. Die

⁹ Heinecke, 2000

¹⁰ Jung, 1986

¹¹ Kempa, 2000, S. 31

kontextbasierte Entwicklung von Kenntnissen macht eine Vernetzung und Abstraktion zum Aufbau eines kontextunabhängigen Wissensfundaments erforderlich. Dies soll durch die Ausbildung von Basiskonzepten erreicht werden. Darunter verstehen Parchmann et al.¹² eine eng begrenzte Anzahl basaler Prinzipien wie das Stoff-Teilchen-Konzept oder das Konzept des chemischen Gleichgewichts, die eine horizontale und vertikale Vernetzung gewährleisten sollen. Neben der Kontextorientierung und dem curricularen Aufbau sind Kriterien zur Unterrichtsgestaltung und –methodik eine dritte Säule in der Konzeption „Chemie im Kontext“. Die vierphasigen Lernzyklen sollen sich durch eine Vielfalt an Unterrichtsmethoden und -formen auszeichnen.

Ziel dieser Dissertation ist es, innerhalb des Curriculums „Chemie im Kontext“ das Thema „Kunststoffe nach Maß“ entsprechend den Anforderungen, die diese Konzeption postuliert, aufzuarbeiten. Hierzu gehören als Elemente der konzeptionellen Entwicklungsarbeit die Entwicklung der Lernzyklen und die Evaluation ausgewählter Aspekte der entwickelten Zyklen:



(verändert nach Ralle¹³)

Die Entwicklung von Lernzyklen umfasst die Recherche und Auswahl von geeigneten Kontexten im Bereich der „Kunststoffe nach Maß“ unter Einbezug der lerntheoretischen Hintergründe. Materialien müssen für einen nach den Anforderungen von „Chemie im

¹² Parchmann et al., 2000a

¹³ Ralle, 1999

Kontext“ gestalteten Unterricht entworfen, aufgearbeitet und methodisch eingebettet werden. Als wichtiges Element curricularer Forschung geht damit die *Entwicklung* von dazu geeigneten Schulexperimenten auf der Basis wahrnehmungspsychologischer und handlungsorientierender Untersuchungen einher.

Dabei sind die rekonstruierenden und die evaluativen Phasen als Teile eines Prozesses curricularer Forschung zu sehen, wobei allerdings diese beiden Ansprüche aufgrund eines häufig komplexen Rekonstruktionsprozesses nicht immer von einer Forschergruppe vollständig eingelöst werden können. Nach der entsprechenden fachlichen Klärung sollten bei der Entwicklung neuer Experimente für den Schulunterricht in einem Strukturierungsprozess grundsätzliche Wege überprüft werden, auf denen ein Thema angemessen experimentell für den Unterricht zu erschließen ist.

Nach der Entwicklungsarbeit und Testphasen im Laborbereich muss die Schultauglichkeit der Experimente überprüft werden. Lunetta¹⁴ hat die Probleme beim experimentellen Arbeiten in der Schule zusammenfassend dargestellt. So schätzen Schüler und Schülerinnen Sinn und Zweck eines Experimentes häufig anders ein, als dies von den Lehrenden beabsichtigt ist. Für viele Schüler und Schülerinnen bedeutet Experimentieren in erster Linie den Umgang mit Geräten und Chemikalien und weniger den intellektuellen Umgang mit den zugrunde liegenden Fragestellungen. Die Lernenden können in vielen Fällen auch keinen Zusammenhang zwischen dem Aufbau und dem zuvor gemeinsam erarbeiteten Ziel des Experiments erkennen.

Daher sollen in einem weiteren Teil dieser Arbeit die entwickelten Experimente daraufhin untersucht werden, ob die Rekonstruktion der Experimente *erfolgreich im Unterricht* bestehen kann. Hier sind folgende Fragen von Bedeutung, die mit Hilfe von Methoden der quantitativen und qualitativen empirischen Forschung geklärt werden müssen:

¹⁴ Lunetta, 1998

- Mit welchem Experimentalaufbau ist das Lehrer-/Schülerexperiment am besten realisierbar? Können Lehrende und Lernende mit der vorgeschlagenen Experimentieranordnung umgehen? (*Handlungsaspekt, Sicherheitsaspekt*)
- Wird das gewünschte Ergebnis des Experiments mit hoher Wahrscheinlichkeit erreicht? (*Routineaspekt*)
- Wird die gewünschte optische Wahrnehmung erzielt? (*Wahrnehmungsaspekt*)
- Wird das Ergebnis des Experiments von den Schülern und Schülerinnen im beabsichtigten Sinne aufgenommen und verstanden? (*Kognitionsaspekt*)¹⁵

Zu diesem Zweck muss im Rahmen dieser Arbeit ein Instrument entwickelt und in der Schulpraxis ausprobiert werden, mit dem die oben genannten Aspekte in Hinblick auf die entwickelten Experimente erfasst werden können.

Zur Evaluationsforschung zählt in dieser Arbeit weiterhin eine Bewertung eines der konzipierten Lernzyklen durch die Schüler und Schülerinnen und deren betreuenden Lehrpersonen über den experimentellen Bereich hinaus. In diesem Rahmen steht eine Überprüfung von ausgewählten Zielen, die mit der Konzeption „Chemie im Kontext“ erreicht werden soll. Folgende Hypothesen wurden nach Ralle¹⁶ für den Unterricht nach „Chemie im Kontext“ postuliert:

1. Ein in lebensweltlichen und Alltagskontexten verankerter Unterricht wird von Schülerinnen und Schüler als besonders interessant und motivierend angesehen.
2. Die inhaltliche Gestaltung (Kontextualisierung) des Unterrichts überzeugt Schüler davon, dass in bestimmten Situationen naturwissenschaftliche Vorstellungen besser geeignet sind als Alltagsvorstellungen.
3. Chemie im Kontext stellt sicher, dass die ausgewählten Inhalte durch geeignete Vernetzung zum Aufbau eines strukturierten und anschlussfähigen Wissens führen.

¹⁵ nach Ralle, unveröffentlichtes Manuskript

¹⁶ Ralle, unveröffentlichtes Manuskript

4. Der vielfältige und unterschiedliche Zugriff auf Basiskonzepte erleichtert die Erarbeitung und Anwendung von fachlichen Zusammenhängen.
5. Die Vielfalt der Unterrichtsformen und Unterrichtsmethoden sichert den Schülerinnen und Schülern einen besseren Zugang zu einem bestimmten Inhalt.
6. Die Vielfalt der Unterrichtsformen und Unterrichtsmethoden wird von Schülerinnen und Schülern als besonders interessant und motivierend angesehen.
7. Schüler erhalten die Gelegenheit, ausgehend von ihrem aktuellen Wissensstand die angestrebten Inhalte weitgehend selbstständig und eigenverantwortlich anhand von geeignetem Material zu erarbeiten.
8. Das hohe Maß an Eigentätigkeit, Eigenverantwortlichkeit sowie die damit verbundenen Kommunikationsmöglichkeiten werden von Schülerinnen und Schülern als besonders interessant und motivierend angesehen.
9. Die Schüler akzeptieren die in Chemie im Kontext vorgesehene Rolle der Lehrperson als Moderator und Lernberater.
10. Chemie im Kontext versetzt die Schüler in die Lage, das Potential der modernen Kommunikations- und Informationstechnologien sinnvoll und verantwortlich für den Lernprozess zu nutzen.

Diese Hypothesen sind bis jetzt noch nicht für den Unterricht überprüft worden. Daher sollen in dieser Arbeit die für den zu evaluierenden Lernzyklus zutreffenden Hypothesen geprüft werden. Auch hierzu muss ein passendes Untersuchungsdesign entworfen werden.

2 Die curriculare Konzeption *Chemie im Kontext*

2.1 Anknüpfungspunkte für *Chemie im Kontext*

Die in der Einleitung geschilderte aktuelle Situation des Chemieunterrichts in Deutschland und die damit verbundenen Probleme bieten einen Handlungsbedarf für die fachdidaktische Forschung. Aus diesem Grund haben sich Demuth, Parchmann und Ralle zum Ziel gesetzt, ein neues Chemiecurriculum zu entwickeln. Die Urheber der *Chemie im Kontext*-Konzeption orientieren sich in der Ausarbeitung ihres Ansatzes an bestehenden kontextorientierten Curricula, insbesondere am *Salters Chemistry Project* in Großbritannien.¹⁷ und dem amerikanischen Ansatz *Chemistry in the Community*. Zur Definition der fachlichen und überfachlichen Ziele wird zudem die im angelsächsischen Raum sehr eingehend geführte Debatte um *scientific literacy* bemüht.¹⁸

2.1.1 Scientific literacy

Der Begriff *scientific literacy* wurde in der Nachkriegszeit im angelsächsischen Raum geprägt. Eine Übersetzung des Begriffes mit „naturwissenschaftlicher Bildung“ wäre nicht adäquat, zumal der Begriff *Bildung* in der deutschen Sprache, insbesondere durch das Bildungsideal des Humanismus, eine eigene, komplexe Bedeutung hat. In der deutschen Literatur zu diesem Thema ist denn auch mitunter von *naturwissenschaftlicher Allgemeinbildung* die Rede¹⁹ oder der Begriff wird unverändert übernommen. *Literacy* heißt in seiner grundlegenden Bedeutung Alphabetisierung und somit die Fähigkeit, an der schriftlichen Kommunikation teilzunehmen.²⁰ Somit wird unterschieden zwischen *illiteracy* und *literacy*, wobei letzteres eine Minimalvoraussetzung darstellt, nicht – wie es der deutsche Begriff *Bildung* impliziert –

¹⁷ Parchmann et al., 2000, S. 132

¹⁸ ebd., S. 135

¹⁹ Gallagher & Harsch, 1996, S 70-83

²⁰ Miller, 1996, S.186

ein anzustrebendes Ideal. Diese Minimalvoraussetzung gilt nun aber, ähnlich wie Lesen und Schreiben, für alle Schülerinnen und Schüler. Die Debatte um *scientific literacy* ist somit jeder Diskussion um Begabung o. ä. entzogen. Vielmehr bedeutet der Begriff die Fähigkeit, „gesellschaftlich relevante Diskussionen über Themen, in denen das jeweilige [naturwissenschaftliche] Unterrichtsfach eine Rolle spielt, zu verstehen und eventuell sogar mitzugestalten, um als autonome Persönlichkeit am gesellschaftlichen Leben teilnehmen zu können“²¹ und spiegelt damit den Gedanken der Zivilgesellschaft wider.

Dieses Ziel entspringt mehreren Begründungszusammenhängen. Abgesehen vom Bedarf (post-)moderner Gesellschaften an naturwissenschaftlich gebildeten Arbeitskräften brauchen Individuen auch naturwissenschaftliches Wissen, um als autonome Persönlichkeiten, Konsumenten und politische Subjekte in demokratischen Entscheidungsprozessen effektiv handeln zu können. Letztlich stellt das naturwissenschaftliche Gedankengebäude auch eine große kulturelle Errungenschaft aufgeklärter Gesellschaften dar.²²

Naturwissenschaftliches Wissen und die Fähigkeit der Nutzung desselben in einem gesellschaftlichen Zusammenhang werden durch den Begriff *scientific literacy* verknüpft und bewirken somit zunächst eine Stärkung der Legitimation naturwissenschaftlichen (Schul-)Unterrichts. Darüber hinaus bedeutet eine derartige Fundierung des naturwissenschaftlichen Unterrichts jedoch ein Infragestellen bestehender Unterrichtsinhalte und der Art ihrer Vermittlung. Es stellt sich die Frage nach ihrem Beitrag zu o. g. Zielen, wohingegen Fragen nach den historischen Wurzeln der Naturwissenschaft, erkenntnis- und wissenschaftstheoretischen Problemen, naturwissenschaftlichen Arbeits- und Produktionsweisen oder auch der Präsentation und Argumentation von naturwissenschaftlichen Zusammenhängen in die Gestaltung des Unterrichts einfließen könnten. Damit das naturwissenschaftliche Wissen in gesellschaftlichen und alltäglichen Zusammenhängen sinnstiftend und handlungsleitend wirken kann, muss es mit eben jenen verknüpft werden. Obwohl wir in einer von

²¹ Fischer, 1998, S. 41

²² ebd., S. 42

Naturwissenschaft und Technik dominierten Welt leben²³, erschließt sich diese nicht automatisch durch die bloße Übernahme eines – didaktisch reduzierten – naturwissenschaftlichen Kompendiums.

Gemessen an diesen Anforderungen bezeichnet Fischer die Situation an deutschen Schulen (zumindest in der SEK I und naturwissenschaftlichen Grundkursen der Oberstufe) als „naturwissenschaftlichen Analphabetismus“²⁴. Naturwissenschaftliche Konzepte spielen bei deutschen Jugendlichen dieser Schulstufen in der Regel bei der Kommunikation und dem Führen von Diskursen keine Rolle. Die Ursachen hierfür sind vielschichtig, können aber unter anderem in der mangelnden Kommunikation²⁵, d.h. im methodischen Bereich verortet werden (siehe auch Ergebnisse der TIMSS-Studie).²⁶

Doch auch die inhaltliche Gestaltung des Unterrichts kann einen Beitrag zur Erklärung der mangelhaften Fähigkeiten insbesondere in den Grundkurse leisten. So ist z.B. der Berliner Rahmenplan für Chemie von 1984 für die Oberstufe letztlich nur ein Rahmenplan für Leistungskurse und als solcher eindeutig an der naturwissenschaftlichen Fachsystematik orientiert. Der Lehrplan für die Grundkurse ergibt sich nur durch Weglassen tiefgehender Aspekte. Es ist zu bezweifeln, ob auf diesem Wege das Ziel einer *scientific literacy for all* zu erreichen ist.

Die Situation stellt sich in anderen westlichen Ländern kaum anders dar. Doch hat man dort teilweise schon früher reagiert und versucht, naturwissenschaftlichen Unterricht durch konzeptionelle Reformen wirksamer zu gestalten.

2.1.2 Der Salters Chemistry Course

Der *Science-Technology-Society*-Unterrichtsansatz ist ein im angelsächsischen Raum sehr populärer Versuch, der Forderung nach *scientific literacy* gerecht zu werden, wenn auch mit einer stark gesellschaftsbezogenen Herangehensweise.²⁷ Seit Anfang der

²³ Miller, 1996, S.185

²⁴ Fischer, 1998, S. 50

²⁵ Kommunikation meint hier die Artikulation und Diskussion der Schülerinnen und Schüler, nicht ein lehrerzentriertes Unterrichtsgespräch.

²⁶ Baumert & Lehmann, 1997

²⁷ Gräber & Suhrbier, 1996, S. 122

achtziger Jahre hat sich dieser Ansatz – auch durch die National Science Teachers Association unterstützt – mit guten Ergebnissen durchgesetzt, wenngleich er keine vollständige Konzeption darstellt²⁸. Dies gilt auch für das von der American Chemical Society ins Leben gerufene Curriculum ChemCom (Chemistry in the Community), was durch verschiedene Evaluationen bestätigt wird²⁹. Dieses ist ein schülerorientiertes Curriculum, das für ein Unterrichtsjahr in der High School projektiert ist. ChemCom zielt darauf ab, den Schülern und Schülerinnen deutlich zu machen, welche bedeutende Rolle die Chemie in privaten und beruflichen Bereichen einnimmt. Aus diesem Grunde werden insbesondere die industriellen, organischen oder biochemischen Bezüge betont. Erreicht werden soll durch verstärkte Eigentätigkeit auf Seiten der Lernenden eine Kompetenz in der Beurteilung von gesellschaftlichen Problemen und Aufgaben.

Eine andere Projektvariante im Sinne *scientific literacy* mit ähnlichen didaktischen Grundüberlegungen stellt der *Salters Chemistry Course*³⁰ für 14-16jährige Schüler und Schülerinnen dar, der Mitte der achtziger Jahre in York, Großbritannien entwickelt wurde. Ausgangspunkt hierfür war die Beobachtung einer abnehmenden Akzeptanz des Faches Chemie bei Schülerinnen und Schülern im Alter von ca. 13 Jahren. Ein Team aus Pädagogen sowie Chemikern aus unterschiedlichen Fach- und Anwendungsgebieten erarbeitete ein Curriculum, welches kontextorientiert ist und sich methodisch an den Erkenntnissen der Lehr- und Lernforschung ausrichtet.

1990 wurde nach einer Testphase begonnen, die ersten Mittelstufen-Klassen nach dieser Konzeption zu unterrichten. Seit 1988 existiert auch einen *Salters Advanced Chemistry Course* für 16- bis 18-jährige (A level). Dieser stellt auch – im Gegensatz zu den Kursen an amerikanischen Schulen – eine Vorbereitung auf das Universitätsstudium dar.

Grundlegendes Merkmal dieses Curriculums ist die Beschäftigung mit den chemischen Inhalten anhand von Kontexten, d.h. stories (Insulin hilft einem kleinen Jungen, ein normales Leben zu führen³¹) oder Themenbereichen aus dem (Alltags-)Leben

²⁸ Sanger & Greenbowe, 1996, S. 532 - 535

²⁹ Sutman & Bruce, 1992, S. 564-567

³⁰ so benannt nach dem Hauptsponsor (the Salters Institute for Industrial Chemistry)

³¹ Pilling & Waddington, 1997, S. 13

(Ozonloch, Geschichte und Chemie der Konservenbüchse³²). Eine Strukturierung der Lehrinhalte nach fachwissenschaftlichen Kategorien tritt völlig in den Hintergrund, vielmehr ist der Kurs so konzipiert, dass alle chemischen Themenbereiche aus den Erfordernissen unterschiedlicher Kontexte erarbeitet werden müssen. Dabei betonen die Verantwortlichen ausdrücklich den unveränderten wissenschaftlichen Anspruch des Unterrichts: „*we wished our course to be as rigorous as any chemistry course at this level but to relate the content to contexts that are of appeal and are significant to students*“³³.

Methodisch legt das *Salters*-Curriculum großen Wert auf kooperative und handlungsorientierte Unterrichtsformen, sowohl in Form von Rollenspielen und Gruppendiskussionen als auch durch einen hohen Anteil an selbstständig durchgeführten praktischen Untersuchungen und Experimenten. Außerdem ist ein Besuch bei der chemischen Industrie ein fest eingeplanter Bestandteil des Lehrgangs, der entsprechend vor- und nachbereitet wird.

Auf diesem Wege versucht der *Salters Chemistry Course* sowohl die Bedürfnisse der Schüler und Schülerinnen zu befriedigen, die sich später naturwissenschaftlich weiterorientieren wollen, als auch den großen Rest der Schülerschaft mit einem naturwissenschaftlichen Interesse und Grundwissen auszustatten, welches ihnen ermöglicht „*to work and live enjoyably and effectively in a society increasingly dominated by science and technology*“³⁴ und somit der Forderung nach *scientific literacy for all* gerecht zu werden. Erste Evaluationen dieser Unterrichtsreihen haben ergeben, dass kontextorientiert und normal unterrichtete Klassen annähernd das gleiche Wissen über chemische Grundbegriffe aufweisen.³⁵ Ebenso zeigte sich, dass Motivation und Interesse der Schüler und Schülerinnen am naturwissenschaftlichen Unterricht deutlich gestiegen waren³⁶. In einer Lehrerbefragung wurden als Faktoren zum Erfolg die Kontextorientierung, die weniger lehrerzentrierte Methodik und das damit

³² Burton, et al., 1995, S. 227

³³ ebd., S. 227

³⁴ Lazonby, et al., 1992, S. 899

³⁵ Ramsden, 1997, S. 697

³⁶ Ramsden, 1992, S. 65-71

verbundene eigenständige Arbeiten der Schüler und Schülerinnen genannt.³⁷ Inzwischen wurde der Ansatz auch auf andere Fächer ausgedehnt, 1977 begann Salters Horners *Advanced Physics* und seit letztem Jahr wird auch für den Biologie A level-Bereich ein Curriculum entwickelt.

Beim *Salters Chemistry Course* handelt sich um ein vollständig ausgearbeitetes Curriculum, in welchem durch die strikt vorgegebenen Kontexte ein Abdecken und Wiederholen aller relevanten chemischen Grundlagen gewährleistet sein soll. Die Schüler und Schülerinnen erhalten hierfür drei unterschiedliche Bücher. „*Chemical Storylines*“ stellt mit Kontexten wie „*Using sunlight*“, „*Colour by design*“ oder „*The oceans*“ die Grundlage für das Arbeiten im Unterricht dar, während „*Chemical Ideas*“ ein annähernd konventionell gestaltetes Lehrbuch ist, welches von der Klasse jedoch nur als Nachschlagewerk genutzt wird. Der Band „*Activities*“ beinhaltet kopierfähige Versuchsanleitungen u. ä. Die vierte Veröffentlichung ist ein „*Teacher’s Guide*“ als Hilfestellung für Lehrerinnen und Lehrer, in dem Unterrichtshinweise und Lösungen der Aufgaben angeboten werden.

Besonders auffallend ist die Gestaltung der Leistungsbewertung. Hier gibt es drei Bewertungsbereiche, zu denen neben Fachwissen auch Kommunikationsfähigkeit und praktische Laborarbeit zählen. Elemente dieser Bewertung sind Prüfungsaufgaben zur Wiedergabe des Gelernten einschließlich Transferaufgaben, eine praktische Forschungsarbeit, in der die Hälfte durch Laborarbeit bestritten wird (z.B. die Synthese und das Testen von selektiven Herbiziden³⁸) und die Bearbeitung von wissenschaftlichen Artikeln zu einer Zusammen- und einer Kurzfassung unter Zuhilfenahme von weiterer Fachliteratur auf dem Programm steht.

Der *Salters Chemistry Course* ist jedoch nur bedingt mit der Konzeption „*Chemie im Kontext*“ zu vergleichen. So nimmt der *Salters Advanced Chemistry Course* einem Umfang von fünf Wochenstunden über zwei Jahre ein. Dies kommt im deutschen Schulsystem nur einem Leistungskurs gleich. Die bislang zum Thema *Chemie im Kontext* erschienenen Artikel beinhalten folglich Unterrichtsbausteine zu einem bestimmten Kontext, an welchem demonstriert wird, wie interessant und trotzdem

³⁷ Ramsden, 1994, S. 7-11

³⁸ Burton et al., 1995, S. 229

fachlich tiefgehend ein derartiger Unterricht sein kann. Erst eine Umgestaltung des Chemieunterrichts in der gesamten gymnasialen Oberstufe nach den Kriterien von *Chemie im Kontext* käme dem Ansatz des *Salters Chemistry Course* gleich. Gerade dies wird von der Arbeitsgruppe um Ralle, Parchmann und Demuth angestrebt. Zudem ist der *Salters Chemistry Course* nur gering problemorientiert. Den Schülerinnen und Schülern werden dadurch ein eigenständiges Erkennen der Probleme und das Nachdenken über die sich daraus ableitenden Vorschläge für den Lösungsansatz erschwert. Zudem kommt die eigenständige Planung von Experimenten gerade im Sinne eines konstruktivistisch geplanten Unterrichts insgesamt zu kurz, denn durch die Vorgabe der durchzuführenden Experimente wird allenfalls ein deduktives Vorgehen gefördert. Trotz allem ist der *Salters Chemistry Course* aufgrund seiner vielfältigen Vorzüge und Erfolge in Ländern wie Belgien, Spanien, Russland, Slowenien, Schweden und Neuseeland adaptiert worden.

2.2 Leitlinien der Konzeption *Chemie im Kontext*

Die Konzeption *Chemie im Kontext* versucht die positiven Erfahrungen eines kontextorientierten Chemieunterrichts wie z.B. bei *Salters* aufzugreifen und darüber hinaus die Erkenntnisse der Lehr-Lernforschung einzubeziehen. Hierbei spielt (neben dem Konstruktivismus und der Selbstbestimmungstheorie der Motivation von Deci und Ryan) das „situated learning“ eine große Rolle. Mandl et. al. haben die Ergebnisse von kognitionspsychologisch und anthropologisch orientierten Studien (Lave, Rogoff, Greeno u.a.) zu folgender Definition zusammengefasst: „Lernen wird also immer als situiert aufgefaßt, es ist stets ein Prozeß, indem personinterne Faktoren mit personexternen, situativen Komponenten in Wechselbeziehung stehen.“³⁹ Merkmale wie die folgenden sollen als Grundlage für die Unterrichtsgestaltung gelten: Wissen wird immer durch das wahrnehmende Subjekt konstruiert, es ist immer situiert. Das situierte Wissen wird unter dem Aspekt der Anwendungsmöglichkeit und damit auch der Authentizität analysiert. Dies ermöglicht, dass nicht – wie im traditionellem Unterricht häufig beobachtet – „träges Wissen“ (inert knowledge) angehäuft wird,

³⁹ Mandl & Gruber & Renkl, 1997, S. 168

welches aber in konkreten Handlungssituationen nicht abrufbar ist. Nach Renkl⁴⁰ fehlt dabei der Übergang vom deklarativen Wissen zum effektiven Handlungswissen. Zudem wird der sozialen Interaktion eine wesentliche Rolle beim Erwerb anwendbaren Wissens zugesprochen. Wichtig ist das in Gesellschaft geteilte Wissen.⁴¹ Wissenserwerb wird somit als eine Enkulturation in eine Expertenkultur angesehen (community of practise).

Ansatz der Konzeption *Chemie im Kontext* sind daher gesellschaftlich relevante und lebensweltliche Kontexte als Unterrichtsinhalte, aus denen sich die fachwissenschaftlichen Inhalte der Chemie entwickeln sollen. Die Kontextinhalte sollen Neugierde wecken, den Schülerinnen und Schülern eine Identifizierung mit Problemen bzw. Fragestellungen ermöglichen und ihre Aufmerksamkeit auf ihr Erkennen und Lösen lenken. Dabei werden sowohl Fachgrenzen als auch fachübergreifende Strukturen sichtbar.

Neben diesem Prinzip der *Kontextorientierung* gibt es in der Konzeption zwei weitere, gleichberechtigte Prinzipien: Bei der methodischen Planung und der Gestaltung des Unterrichts sollen vor allem die Alltagserfahrungen und Vorkenntnisse der Lernenden miteinbezogen werden und das Augenmerk auf eine eigenständige Erarbeitung durch Schülerinnen und Schüler gerichtet werden. Als drittes Prinzip sollen *Basiskonzepte* ein kontextunabhängiges Wissensfundament erzeugen⁴². Dabei soll der strukturierte Aufbau von disziplinärem Wissen durch mehrdimensionale Verknüpfung von Kontexten und Basiskonzepten erreicht werden. Basiskonzepte sind :

- a) das Stoff-Teilchen-Konzept
- b) das Konzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehung
- c) das Donator-Akzeptor-Konzept
- d) das Gleichgewichtskonzept
- e) das Energie (Entropie-)konzept
- f) das Reaktionsgeschwindigkeitskonzept⁴³

⁴⁰ Renkl, 1996, S. 82

⁴¹ ebd. S. 170

⁴² Parchmann, 2001, S.4

⁴³ Parchmann, 2000a, S. 134

Laut Parchmann et. al. kann jedes dieser Basiskonzepte in drei voneinander unabhängige Ebenen gegliedert werden, dem Alltags-, dem Fachwissen und den vernetzenden, kontextunabhängigen Prinzipien. Für sämtliche Basiskonzepte sollen die relevanten Kenntnisse für die Sekundarstufe I und II definiert werden, letztere jeweils unterschieden in Grund- bzw. Leistungskursniveau. Die Basiskonzepte sollen innerhalb des Curriculums – anders als in einem Spiralcurriculum - von möglichst unterschiedlichen Stellen angesteuert werden, um ein strukturiertes, anschlussfähiges Wissen zu gewährleisten.

Die Konzeption sieht sich zudem dem *pragmatischen Konstruktivismus* verpflichtet. Inhalte sollen unter Anknüpfung an Vorwissen, möglichst selbsttätig und in sozialer Interaktion erarbeitet werden. Dazu wird der Lehrgang in einem Lernzyklus strukturiert, in welchem die fachwissenschaftlichen Inhalte unter Einsatz möglichst vielfältiger Methoden – insbesondere auch der *neuen Medien* – und kooperativer Handlungsformen kontextorientiert erarbeitet werden.

2.2.1 Konstruktivismus

Die Entstehung des erkenntnistheoretischen Konstruktivismus lässt sich auf die Ausführungen Immanuel Kants in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zurückführen. Es handelt sich um eine Kritik an der damaligen empiristischen Erkenntnisvorstellung, die Erkenntnis als das Resultat von Einwirkungen der Realität auf das Subjekt ansieht.

Die Existenz eben jener Realität, der “Dinge an sich”, ist nach Kant aber keineswegs gesichert, bzw. der Nachweis dieser Realität verschließt sich der menschlichen Erkenntnisfähigkeit.⁴⁴ Der Mensch nimmt mit Hilfe seiner Sinnesorgane eine chaotische Vielzahl von Impulsen auf, die er durch a priori vorhandene Anschauungsformen (Raum, Zeit) und Verstandesbegriffe (Einheit, Vielfalt, Wechselwirkungen, Notwendigkeit) ordnet und zu Wahrnehmungen und Vorstellungen konstruiert. „Was es

⁴⁴ Stork, 1995, S. 16

für eine Bewandnis mit den Gegenständen an sich [...] haben möge, bleibt uns gänzlich unbekannt. Wir kennen nichts als unsere Art, sie wahrzunehmen ...”⁴⁵

Diese Ausführungen sind sehr verkürzt, und die Rezeption der Kantschen Überlegungen ließe sich bis in die heutige Zeit verfolgen, insbesondere im Zusammenhang mit dem kritischen Rationalismus Karl Poppers und dem daraus resultierenden Positivismusstreit, was jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit sein soll.

Wenn Wirklichkeit und Erkenntnis Konstrukte in den Köpfen der Menschen sind, und “Objektivität [...] das Ergebnis einer erkenntnistheoretischen Kurzsichtigkeit, keine Leistung”⁴⁶, so sollte dies Auswirkungen auf die Art und Weise des Unterrichtens naturwissenschaftlicher Sachverhalte haben, da die Naturwissenschaften sich in besonderem Maße der “Anerkennung des naturwissenschaftlichen Wissens als Abbild einer *objektiven*, in der Natur vorhandenen Entität”⁴⁷ bedient. Die mitunter zu beobachtende Vorstellung, „dem Lernenden werde das Wissen übergeben, so wie im Supermarkt die abgepackte Ware in den Einkaufswagen geworfen wird”⁴⁸ kann den Bedürfnissen und Möglichkeiten der Schülerinnen und Schüler demzufolge nicht gerecht werden. Vielmehr muss sich die Didaktik der Naturwissenschaft mit dem Prozess der Konstruktion von Wissen in den Köpfen der Heranwachsenden befassen. So ist denn auch in Veröffentlichungen im Zusammenhang mit der „Chemie im Kontext“-Konzeption vom sogenannten *pragmatischen Konstruktivismus*⁴⁹ die Rede, die sie sich verpflichtet fühlt. Dieser Begriff wurde von Gerstenmaier und Mandl⁵⁰ in Gegensatz zum radikalen Konstruktivismus geprägt. Er drückt auch aus, dass der Begriff „konstruieren“ nicht allzu eng im mechanistischen Sinne zu verstehen ist.

Der pragmatische Konstruktivismus stellt den Konsens über die Inhalte der Chemie nicht in Frage, er beschäftigt sich eher mit der Art und Weise, wie diese Inhalte erlernt bzw. konstruiert werden können. Die Notwendigkeit der eigenständigen Konstruktion

⁴⁵ Kant, 1956, S. 83

⁴⁶ Feyerabend, 1979, S. 119

⁴⁷ Fischer, 1990, S. 42

⁴⁸ Jung, 1997, S. 3

⁴⁹ Parchmann et al., 2000, S. 134

⁵⁰ Gerstenmaier & Mandl, 1995, S. 882

naturwissenschaftlicher Sachverhalte von Seiten der Schüler und Schülerinnen bedeutet nicht, dass dieser Prozess automatisch, allein durch selbstständiges Ausprobieren und Bilden von Hypothesen abläuft. Strategische Fähigkeiten und metakognitives Reflektieren lassen sich unter kognitiv guter Anleitung besser entwickeln⁵¹, der Lehrperson kommt die Aufgabe einer „gelenkte[n] Rekonstruktion“⁵² zu.

Hierbei ist besonderes Augenmerk auf den Übergang vom konkret- zum formal-operationalen Stadium im Sinne der Piagetschen Entwicklungspsychologie zu legen. „Die Schule darf bestimmte kognitive Fähigkeiten nicht einfach voraussetzen; sie muss bewusst versuchen, deren Entwicklung zu fördern“.⁵³ Traditioneller (oder grundsätzlich schlechter) Chemieunterricht überfordert die Schüler und Schülerinnen oftmals mit formalen Sachverhalten und Theorien, was zum Auswendiglernen und somit zu unnötiger Belastung des Gedächtnisses und Blockade kognitiver Aktivität führt.⁵⁴ Dies darf jedoch nicht bedeuten, auf formale Sachverhalte im Rahmen des Chemieunterrichts zu verzichten. Vielmehr muss der Entwicklungsstand der Lerngruppe berücksichtigt und ein Erreichen der formal-operationalen Entwicklungsstufe gefördert werden, um in „die Gemeinschaft derer, die die Naturwissenschaftssprache sprechen“ aufgenommen zu werden und ein Selbstverständnis als „sachverständige[r] und konsensfähige[r] Diskussionspartner“ zu entwickeln.⁵⁵

Die Konsequenzen für den Chemieunterricht sind also weit weniger spektakulär, als es die konstruktivistische Theorie vermuten lässt. „*Good teachers [...] have practised much of what is suggested here, without the benefit of an explicit theory of knowing. [...], constructivism may provide the thousands of less intuitive educators an accessible way to improve their methods of instruction*“.⁵⁶

Wie bereits mehrfach angedeutet, ist den vorhandenen Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen bezüglich naturwissenschaftlicher Sachverhalte besondere

⁵¹ Dubs, 1995, S. 897

⁵² Stork, 1995, S. 19

⁵³ Gräber & Stork, 1984, S. 264

⁵⁴ ebd., S. 266

⁵⁵ Stork, 1995, S. 20

⁵⁶ Fischer, 1990, S. 62

Aufmerksamkeit zu widmen. Anknüpfend an diese sollen kognitive Konflikte initiiert werden, die - unter geeigneter Unterstützung von Seiten der lehrenden Person - selbsttätig unter Äquilibration gelöst werden.

Konstruktivistische Unterrichtsgestaltung lässt sich somit auf drei Leitlinien zusammenfassen, auf das Anknüpfen an die lebensweltliche Erfahrungswelt der Lernenden, den kognitiven Konflikt und die starke Lernumgebung.

Nach konstruktivistischer Lerntheorie muss das Erarbeiten fachwissenschaftlicher Inhalte an die Vorerfahrungen der Schülerinnen und Schüler und damit an ihre *lebensweltliche Erfahrungswelt* angeknüpft werden. Zum einen wird so eine intrinsische Motivation erzeugt, zum anderen verfügen die Schülerinnen und Schüler in der Regel schon über dezidierte Vorstellungen von Naturphänomenen. Diese – häufig auch in der Welt der Erwachsenen anzutreffenden - Auffassungen sind im naturwissenschaftlichen Sinne oft unvollständig oder falsch, tragen aber zur Erklärung naturwissenschaftlicher Phänomene derart weit, dass nicht davon ausgegangen werden kann, dass ein Unterricht, der „die Realität unstrukturierter Probleme“⁵⁷ als Anknüpfungspunkt wählt, automatisch in einen *kognitiven Konflikt* führt. Die Kontexte müssen vielmehr sorgsam ausgewählt und aufbereitet werden, so dass ein wirkliches Problem für die Schülerinnen und Schüler entsteht und die neuen Konzepte auch tatsächlich bessere Antworten bieten. Der wissenschaftliche Charakter der darauf aufbauenden, neuen Vorstellungen sollte aber immer betont werden. Es wäre unzulässig und auch anti-konstruktivistisch, den neuen Vorstellungen einen allgemeingültigen Charakter zu verleihen und die Alltagsvorstellungen und -sprache durch naturwissenschaftliche Begriffe vollständig ersetzen zu wollen. Nach Mandl et al.⁵⁸ müssen die Ausgangsprobleme zudem komplex genug sein, damit die Lernenden zu aktivem Durchdenken und Reflektieren angeregt werden. Es soll zudem berücksichtigt werden, dass unter multiplen Perspektiven und in multiplen Kontexten gelernt werden kann. Das bedeutet, dass derselbe chemische Inhalt in einem anderen Kontext wieder aufgegriffen oder auch erweitert werden kann. Dies hat ein Herauslösen des Wissens aus dem ursprünglichen Kontext zur Folge (Dekontextualisierung).

⁵⁷ Dubs, 1995, S. 890

⁵⁸ Mandl & Gruber & Renkl, 1997, S 171

Konstruktivistischer Chemieunterricht sollte zudem durch geeignete alltägliche Phänomene bei den Lernenden Unzufriedenheit über ihre subjektiven Erklärungskonzepte herbeiführen und ihnen bei der Äquilibration der somit entstandenen kognitiven Konflikte Hilfestellung geben. Die größte Quelle für derartige Diskrepanzen stellt die Interaktion mit anderen dar. Der Unterricht muss also schülerzentriert, unter Anwendung kommunikativer Unterrichtsformen erfolgen.

Die Phänomene müssen eindeutig sein und die Grundlage für den Übergang von lebensweltlichen zu wissenschaftlichen Konzepten bieten. Die Lernbereiche sind an den Vorerfahrungen und Interessen der Klasse auszurichten, wobei angemerkt werden muss, dass auch das Problembewusstsein eine subjektive Größe ist, und somit eine möglichst exakte Kenntnis der Lerngruppe gewährleistet sein sollte. Durch Diskussion von individuellen Interpretationen und Hypothesen kann kollektives Lernen erreicht werden, wobei gesteigerter Wert auf eine Verbalisierung der Problemlösungen gelegt werden sollte. Die Erarbeitung der fachlichen Inhalte sollte möglichst selbstständig erfolgen. Damit die Erörterung und Diskussion der entstandenen kognitiven Konflikte zu einem aktiven Lernprozess beiträgt, ist besonderes Augenmerk auf die Schaffung einer so genannten *starken Lernumgebung*⁵⁹ zu legen.

Die Lernsituation sollte so anspruchsvoll gestaltet sein, dass sie zum einen zu kollektivem Lernen zwingt, andererseits aber keine Erklärungen von Seiten des Lehrers bzw. der Lehrerin notwendig macht. Die lehrende Person akzeptiert die Autonomie und Initiative der Schülerinnen und Schüler, fördert den Dialog, bietet aber keine vorstrukturierten Lösungswege an. Die Lernenden müssen diesen Spielraum auch persönlich wahrnehmen. Aber es wird ihnen auch gezielte Hilfestellung (z.B. durch Coaching oder Scaffolding) z.B. bei der Bearbeitung der Problemstellungen, bei Schwierigkeiten in Gruppenarbeitsphasen oder bei der Auswahl und Verarbeitung von Informationen angeboten. Hier wird vom Lehrenden erwartet, dass er ein ausgeglichenes Verhältnis zwischen expliziter Instruktion durch seine Person und konstruktiver Aktivität der Lernenden schafft.

⁵⁹ Dubs, 1995, S. 897

Doch das Verhalten der Lehrperson sollte auch eine affektive Komponente beinhalten. Das Loslösen von den bewährten Konzepten stellt mitunter auch ein Loslösen vom vermeintlich „gesunden Menschenverstand“ dar, da sich die - naturwissenschaftlich falschen – lebensweltlichen Erklärungen von Naturphänomenen (misconceptions) oft bis in die Erwachsenenwelt beibehalten werden. Schüler und Schülerinnen, die sich an das Aufstellen von Hypothesen wagen, laufen Gefahr, sich vor der Klasse lächerlich zu machen. Daher ist es für einen konstruktivistisch geprägten Unterricht notwendig, dass die Schülerinnen und Schüler lernen, sich gegenseitig als „sachverständige Diskussionspartner“⁶⁰ zu akzeptieren.

2.2.2 Lernen im Kontext

Zentrale Forderung der „Chemie im Kontext“-Konzeption und ganz im Sinne des pragmatischen Konstruktivismus ist die Anbindung von fachwissenschaftlichem Wissen an Kontexte, d.h. Geschichten oder Sachverhalte, die der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler entspringen, gesellschaftsrelevant und/oder Gegenstand aktueller Forschung sind.⁶¹ Diese Kontexte strukturieren den Lehrgang. Es handelt sich also nicht um Beispiele aus der Lebenswelt, die anekdotenhaft einen fachwissenschaftlich strukturierten Unterricht ergänzen, sondern die Notwendigkeit der Beschäftigung mit der Fachwissenschaft ergibt sich aus diesem Kontext.

Konfrontiert man die Schülerinnen und Schüler mit den fertigen Theorien und Inhalten der formalen Wissenschaft, so kann dies mitunter zu einer Entfremdung führen, die bewirkt, dass diese zwei Sichtweisen der Wissenschaft entwickeln – Schulwissen und „common sense“ - Wissen.⁶² Die Fachwissenschaft wird zu einem inerten Wissenskomplex, der bestenfalls in Prüfungssituationen aktiviert wird, jedoch keinerlei sinnstiftende Bedeutung für die Schülerinnen und Schüler hat. Stinner führt hier die Beschäftigung mit der Wertigkeit der Elemente in der frühen Mittelstufe an, die einzig zum Ziel hat, stöchiometrisch korrekte Formelgleichungen entwickeln zu können.⁶³ Diese Fähigkeit ist jedoch außerhalb des Wissenschaftsgebäudes der Chemie ohne

⁶⁰ Stork, 1995, S. 24

⁶¹ Parchmann et al., 2000a, S. 134

⁶² Stinner, 1995, S. 557

⁶³ ebd. S. 577

Wert, und es verwundert nicht, dass sich ein großer Teil der Schülerinnen und Schüler von der Naturwissenschaft abwenden.

Das Lernen anhand eines Kontextes entspricht eher der „*constructivist nature of human sense making*“⁶⁴. Es kann an vorhandenes Wissen angeknüpft werden, die Inhalte entspringen der Lebenswelt und sind in diese eingebettet. Zudem wirkt das Fachwissen auch handlungsleitender, da das Leben eher narrativ als theoretisch ist.⁶⁵ Ein Bezug vom Alltagsphänomen auf die Wissenschaft lässt sich leichter bilden, wenn letzteres auch mit Geschichten verknüpft präsent ist. Logisch-deduktives und narratives Wissen stellen zwei Arten des Wissens dar, „*each with it`s own operating principles and it`s own criteria of well-formedness, though neither should be considered inherently „better“ than the other*“⁶⁶. Lernen im Kontext wirkt also nicht nur motivierend, indem es den fachwissenschaftlichen Inhalten durch Anbindung an die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler Sinnhaftigkeit verleiht, sondern es sollte auch zu insgesamt besseren Lernleistungen führen.

Wohlgermerkt soll das narrative Wissen die formal fachwissenschaftlichen Inhalte nicht verdrängen, und ein kontextorientierter Chemieunterricht muss großen Wert auf die Erarbeitung von systematischen fachwissenschaftlichen Inhalten legen. Doch wenn diese Inhalte „zu einem besseren Verstehen und Beurteilen der Lebenswirklichkeit“⁶⁷ beitragen sollen, so ist diese Verknüpfung gezielt zu suchen und herauszustellen. Dabei müssen die Problemsituationen situiert und authentisch sein oder Bezug zu authentischen Ereignissen haben, damit durch Aktualität sowie allgemeine oder persönliche Brisanz Neugier und auch Betroffenheit erzeugt werden kann.

⁶⁴ Stinner, S. 563

⁶⁵ Berliner, D.: „Telling the Stories of Educational Psychology“, S. 155

⁶⁶ ebd., S. 154

⁶⁷ Parchmann et al., 2000a, S. 133

2.2.3 Der Lernzyklus

Die Beschäftigung mit der Story bzw. dem Kontext sollte laut „Chemie im Kontext“ in Form von Lernzyklen erfolgen, um den Ansprüchen einer konstruktivistisch orientierten Lernumgebung gerecht zu werden. Ein Lernzyklus ist in vier Phasen aufgeteilt:

a) *Begegnungsphase*

Die Klasse wird zunächst mit dem Kontext konfrontiert, aus dem im Folgenden die fachlichen Inhalte erarbeitet werden. Die Schülerinnen und Schüler sollen den Kontext aus ihrem Leben wiedererkennen und mit vorhandenen Erfahrungen und bestehendem Wissen in Zusammenhang bringen. Diese Auseinandersetzung führt idealerweise zu der Erkenntnis, dass das vorhandene Wissen nicht ausreicht, um den präsentierten Sachverhalt adäquat zu erklären.

b) *Neugier- und Planungsphase*

Man kann davon ausgehen, dass die Erkenntnis, sich einen alltäglichen Sachverhalt nicht erklären zu können, bei den Schülerinnen und Schülern Neugierde und intrinsische Motivation erzeugt – zumindest in stärkeren Maße, als dies bei aus der Fachsystematik abgeleiteten Fragestellungen der Fall wäre. Die Klasse sollte nun einen Organisations- und Arbeitsplan aufstellen, um das Thema zu erarbeiten. Die Lehrperson nimmt eher eine moderierende Rolle ein, sollte jedoch darauf achten, dass die Fragen auch eine umfassende Bearbeitung des Kontexts ermöglichen. Das Geben von fachlicher Hilfestellung bei gleichzeitiger Gewährleistung einer höchstmöglichen Selbsttätigkeit der Schüler und Schülerinnen stellt eine große Herausforderung an die Lehrperson dar, zumal auch hier auf Methodenvielfalt und einem sinnvollen Einsatz von konstruktiv und instruktiv gestalteten Verfahren geachtet werden muss.

c) *Erarbeitungs- und Auswertungsphase*

Diese Phase bildet den Schwerpunkt des Lernzyklusses. Sie wird durch den zuvor aufgestellten Arbeitsplan strukturiert. Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten möglichst selbstständig, in anregenden Lernumgebungen, die fachwissenschaftlichen Fragestellungen. Dieser Vorgang erhält zusätzliche Legitimität durch die Tatsache, dass die Klasse die Fragestellungen selbst erarbeitet hat und die Bearbeitung dem gemeinsamen Ziel – Verstehen des

lebensweltlichen Kontexts – dient. Nach der Erarbeitung fallen auch die Präsentation von Arbeitsergebnissen (als Ergebnissicherung) und Bewertung der Leistungen in diese Unterrichtsphase.

d) *Vertiefungs- und Vernetzungsphase*

Die Bearbeitung der Leitfragen wird mit Sicherheit neue Fragen aufwerfen. Entweder stößt man im Kontext auf weitere fachwissenschaftliche Fragestellungen (Vernetzung des Kontextes mit anderen Themen, Interdisziplinarität) oder die erarbeiteten fachwissenschaftlichen Inhalte bieten Erklärungsmöglichkeiten für Sachverhalte aus anderen Kontexten (Vernetzung der Inhalte mit anderen Kontexten, De-Kontextualisierung). Insbesondere letzterer Punkt ist außerordentlich wichtig, da somit frei verfügbares fachwissenschaftliches Wissen erzeugt und so genanntem „Schubladenwissen“ entgegengewirkt wird. Durch Brückenaufgaben kann hier sowohl eine vertikale als auch eine horizontale Vernetzung erreicht werden. Durch methodische Varianten wie Erstellung eines mind maps, wobei Inhalte aus verschiedenen Kontexten gruppiert und strukturiert werden, kann in dieser Phase eine weitere Abstraktion der Inhalte in Richtung Basiskonzept erreicht werden.

Die Vertiefungs- und Vernetzungsphase leitet direkt zu weiteren Lernzyklen über. Die Inhalte werden also nicht nur in Form des klassischen Spiralcurriculums entwickelt, sondern sind in sich zusätzlich quervernetzt.⁶⁸

2.2.4 Methodenvielfalt

Eine Vielfalt an Methoden, insbesondere solche, die kooperatives und eigenverantwortliches Lernen ermöglichen, wird in der Literatur zur „Chemie im Kontext“-Konzeption angemahnt. Insbesondere dem Einsatz der „neuen Medien“ wird im Rahmen der Unterrichtsgestaltung eine besondere Rolle beigemessen⁶⁹.

„Chemie im Kontext“ setzt die „neuen Medien“ auf unterschiedlichen Ebenen im Rahmen einer mediendidaktischen Gesamtkonzeption ein“. Dieser Einsatz sollte jedoch keineswegs unkritisch erfolgen. Der Erweiterung des Methodenspektrums und der

⁶⁸ Parchmann et al., 2000a, S. 134

⁶⁹ Parchmann, et al., 2000a, S. 135

inhaltlichen Möglichkeiten, die die „neuen Medien“ ermöglichen, stehen eine Reihe fachspezifischer Schwierigkeiten gegenüber. Grundsätzlich sollten die „neuen Medien“ immer als Medium, d.h. als Werkzeug und nicht als Selbstzweck betrachtet werden. Des Weiteren sollten die Auswirkungen des Computereinsatzes auf den Umgang der Schüler und Schülerinnen untereinander berücksichtigt werden, denn „obwohl die neuen Technologien das Problem des Zugangs zum „Lehrstoff“ lösen mögen, arbeiten sie gegen das, was „soziale Werte“ genannt wird“.⁷⁰

Der Begriff der „neuen Medien“ bezieht sich auf den Einsatz von Computern und die „technische Verknüpfung von Verbreitung und Verarbeitung der Informationen unter Etablierung von sog. Multimedia-Systemen und ihre[r] internationale[n] Vernetzung, z. B. in Form des Internet“⁷¹. Die rasante Entwicklung der Informationstechnologien übt eine stark verändernde Wirkung auf viele Lebensbereiche aus. Auch der schulische Chemieunterricht wird von diesen Entwicklungen tangiert, und zwar auf unterschiedliche Art und Weise:

Die Schüler und Schülerinnen sind in der Regel in einem Umfeld aufgewachsen, welches in hohem Maße von digitaler Technik und modernen Kommunikationstechnologien geprägt ist. In ihrem späteren Leben wird der Computer daher eine selbstverständliche Rolle einnehmen. Medienkompetenz wird somit zur pädagogischen Aufgabe auch und gerade im Schulbereich mit dem Ziel, nicht nur Kenntnisse und Fähigkeiten in der Nutzung dieser Technologien zu vermitteln, sondern auch den kritischen Umgang mit denselben, die Bewertung und Einordnung von Informationen.⁷² Die kritische Nutzung der Informationstechnologien wird somit zur Aufgabe der gesamten schulischen Bildung.

Elektronische Datenverarbeitung nimmt mittlerweile einen großen Stellenwert in der wissenschaftlichen Forschung und der chemischen Industrie ein, sei es aus Effizienzgründen oder aufgrund der Tatsache, dass der Computer neue methodische

⁷⁰ Postmann, 1997, S. 65

⁷¹ Demuth, & Nick, 1999, S. 2

⁷² Schulz-Zander, 1997, S. 10

Herangehensweisen gewährleistet.⁷³ Insofern kommt der Auseinandersetzung mit den „neuen Medien“ auch eine fachimmanente, propädeutische Bedeutung zu.

Der Computer bietet außerdem eine Reihe von Möglichkeiten, den Schulunterricht methodisch abwechslungsreicher, inhaltlich intensiver und (bei sorgfältiger Planung) mit hoher Selbsttätigkeit der Schüler und Schülerinnen zu gestalten. Im Internet findet sich eine Vielzahl von größtenteils kostenlosen Anwendungen und Materialien. Dies lässt sich auch von Seiten der Lehrperson bei der Planung effektiv im Sinne einer größeren Aktualität und Interdisziplinarität einsetzen.

In Anbetracht dieser Faktoren wird denn auch in der Literatur dem Einsatz der „neuen Medien“ in der Schule nirgends grundsätzlich widersprochen. Ungeachtet der Besonderheiten, die im jeweiligen Einsatzfeld des Computers beachtet werden sollten, muss die Lehrperson sich jedoch vergegenwärtigen, dass die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine eine Vernachlässigung sozialer Interaktion und somit auch eine Veränderung des Lehrer-Schüler-Verhältnisses bewirkt. Des Weiteren sind Einstellung, Vorerfahrungen und Zugangsmöglichkeiten zu modernen Kommunikationstechnologien abhängig vom Geschlecht. Da naturwissenschaftlich-technische Fächer in oberen Klassenstufen ohnehin eine starke Unterrepräsentanz von Mädchen aufweisen⁷⁴, ist der Einsatz des Computers nur unter bewusster Unterstützung derselben und aufmerksamer Beobachtung der Interaktionen in der Klasse ratsam. In der Schule muss also grundsätzlich „in jedem Fall geprüft werden, ob die Vermittlung der Ziele und Inhalte mit Computerprogrammen sinnvoller und erfolgreicher erfolgen kann als mit konventionellen Medien“⁷⁵.

Die Möglichkeiten des Computereinsatzes im Chemieunterricht lassen sich grob in vier Bereiche unterteilen: Simulation und Modellbildung, Messwerterfassung und –verarbeitung, Internetrecherche sowie multimediale Unterrichtsmaterialien.

Die computerunterstützte Messwerterfassung bietet sich im Chemieunterricht immer dann an, wenn viele Messwerte in äußerst kurzer Zeit oder über einen sehr langen Zeitraum anfallen. Mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers können die von

⁷³ GDCh-Fachgruppe „Chemieunterricht“, 1996

⁷⁴ Hannover & Bettge, 1993

⁷⁵ GDCh-Fachgruppe „Chemieunterricht“, 1996

unterschiedlichen Messinstrumenten (Temperaturfühler, pH-Sonde, Tropfenzähler etc.) gesammelten Daten im Computer gespeichert und auf einem Bildschirm oder mittels Datenprojektor angezeigt werden und dort auch auf- bzw. weiterverarbeitet werden. So wird die Durchführung bestimmter quantitativer Methoden, sei es die Aufnahme von verschiedenen Titrationskurven, Leitfähigkeits- oder Massenveränderungen⁷⁶, in der Schule überhaupt erst möglich.

Die Probleme, die sich im Allgemeinen bei der Benutzung des Internet aufgrund seiner Struktur im Schulunterricht ergeben, sind hinlänglich bekannt und sollen hier nur kurz umrissen werden. Größe und fehlende Strukturen des Informationsangebots sowie die Dynamik, d.h. das tägliche Erscheinen und Verschwinden von Angeboten, erschweren eine gezielte Suche, stellen jedoch andererseits auch die Stärke dieses Informationssystems dar⁷⁷.

Die Möglichkeiten des Einsatzes des Internet als Medium im Unterricht sind zudem stark von der Ausstattung der Schule und den entsprechenden Vorerfahrungen der Schüler und Schülerinnen (z.B. aus dem ITG-Unterricht⁷⁸) abhängig.

Erste Erfahrungen mit derartigen Konzepten⁷⁹ zeigen, dass die Probleme des Interneteinsatzes in erster Linie mit fehlender Zeit, großer Ablenkung und geringem fachlichen Informationsanteil angegeben werden. Auch wenn man der geringen fachlichen Qualität mit entsprechenden Angeboten entgegensteuern kann, zeigt sich, dass eine Internetrecherche eher zur Vertiefung als zur Erarbeitung von Inhalten genutzt werden sollte. Um ein zielgerichtetes Arbeiten und befriedigende Ergebnisse zu gewährleisten, muss die Suche deshalb von Seiten der Lehrperson vorbereitet werden. Durch ein Erstellen einer Startseite mit hilfreichen Links oder auch nur die Angabe von interessanten, grundlegenden Seiten als Ausgangspunkt kann ein planloses „Herumsurfen“ verhindert werden.

⁷⁶ Nürnberg, 1999

⁷⁷ Köhler-Krützfeldt, 1999, S. 85

⁷⁸ informationstechnischen Grundbildung

⁷⁹ Möllenkamp, 1998, S.489

Den dargestellten Problemen steht jedoch auch eine Reihe von Vorteilen gegenüber. Durch die hohe Selbsttätigkeit und die Interaktivität stellt das Internet eine geeignete Lernumgebung im Sinne des konstruktivistischen Lernens dar. Die kommerziellen Angebote mögen fachwissenschaftlich unbefriedigend sein, sie sind jedoch absolut authentisch und somit lebensweltbezogen. Das Internet bietet die Möglichkeit, erworbenes Fachwissen selbstständig mit anderen Bereichen, insbesondere aus dem Bereich der Anwendungen, zu vernetzen.

Die Bedeutung des Internet als Informationssystem wird in der Zukunft fraglos noch zunehmen. Erfahrungen in der Informationsbeschaffung und –bewertung sind somit auch über die Schule hinaus, im Sinne der Befähigung zum *lifelong learning*, relevant⁸⁰.

Zunehmend gewinnt auch der Einsatz von computerunterstützten Animationen und anderen multimedialen Anwendungen im Chemieunterricht an Gewicht. Die heutige Technologie ist in der Lage, unterschiedliche Medien wie Bild-, Ton-, Text- und Filmdokumente zu integrieren. Die Medien sind permanent verfügbar und bieten somit die Möglichkeit des gezielten Anknüpfens an die Interessen der Schüler und Schülerinnen sowie der Gewährleistung von Interdisziplinarität. Der „pädagogischen (Binsen-)Weisheit“⁸¹, dass Informationen durch das Ansprechen mehrerer Eingangskanäle besser übermittelt werden können, wird in der Schule schon seit einiger Zeit durch den Einsatz von Film- und Videomaterial Rechnung getragen. Durch den Einsatz von Multimedia bekommt dieser Ansatz jedoch eine neue Qualität, da nun kurze Bilder, Filme oder Animationen „auf Knopfdruck“ verfügbar sind, während der Einsatz eines herkömmlichen Filmes in der Regel nur als eigenständiger Unterrichtsteil zu realisieren ist. Das größte Hindernis stellt in diesem Zusammenhang die Ausstattung der Schulen mit den entsprechenden Geräten (insbesondere Video-Beamern) dar.

Der Begriff Multimedia ist jedoch noch weitgehender. Über die Integration mehrerer Medien hinaus, das Ansprechen unterschiedlicher Eingangskanäle (Multimodalität) und Symbolsysteme (Multicodalität), bietet ein Multimediasystem die Möglichkeit der Interaktion des Nutzers mit dem Gerät. Ein Multimedia-Programm wird nicht linear abgearbeitet, sondern bietet dem Nutzer die Möglichkeit, durch Hyperlinks innerhalb

⁸⁰ Köhler-Krützfeldt, 1999, S. 85

⁸¹ Demuth & Nick, 1999, S. 2

des Systems einen individuellen Weg zu beschreiten. Die Struktur sollte sich hierbei jedoch weiterhin an einem linearen Durchgang orientieren und optionale Verzweigungen bieten, um dem bekannten Phänomen des „lost in hyperspace“⁸² zu begegnen. Zudem sollten gestaltungs- und wahrnehmungspsychologische Prinzipien beachtet werden.⁸³

Ein gut vorbereiteter Multimedia-Einsatz könnte die Forderungen des Konstruktivismus einlösen, indem er von komplexen Alltagsproblemen ausgeht, beliebige Quervernetzungen zulässt und den Schülern und Schülerinnen die Möglichkeit gibt, sich selbstständig durch den Zusammenhang zu bewegen.⁸⁴ Jedoch sollte beachtet werden, dass ein Multimediasystem nicht die Realität darstellt, die Konstruktion der Begriffs- und Inhaltsnetze sich also mehr auf das Design der Software, denn auf den tatsächlichen Lehrgegenstand bezieht. Dem kann entgegengewirkt werden, indem man das Multimedia-Programm mit dem Internet kombiniert und somit den zu entdeckenden Bereich ausweitet.

Dennoch ist der Einsatz solcher Medien nicht unproblematisch. Multimedia-Anwendungen können einen intrinsisch motivierenden Effekt ausüben, aber „[nach] neueren Untersuchungen ist jedoch nicht von einer Überlegenheit, sondern allenfalls von einer Gleichwertigkeit multimedialer Instruktion mit herkömmlichem Lehrerunterricht auszugehen“⁸⁵. Ebenso könnten sie bei intensivem und unüberlegtem Einsatz den Verlust an sozialer Interaktion und Selbstbezogenheit zur Folge haben, die den „neuen Medien“ von Seiten ihrer Kritiker immer vorgeworfen wird.⁸⁶

Die dargestellten Schwierigkeiten und Probleme zeigen, dass der Computer die Lehrperson keineswegs ersetzen kann. Ein gut vorbereiteter, maßvoller Einsatz der „neuen Medien“ stellt jedoch eine sinnvolle und fruchtbare Erweiterung des Methodenspektrums dar.

⁸² Riedel, 1997, S. 34

⁸³ Heege & Schmidkunz, 1997, S. 10

⁸⁴ Mandl & Gruber, & Renkl, 1997, S. 174

⁸⁵ Sacher, 1998, S. 454

⁸⁶ Schulz-Zander, 1997, S. 10

Dieses Spektrum soll in der Konzeption „Chemie im Kontext“ gerade in Hinblick auf kooperative Arbeitsmethoden „ausgereizt“ werden. Die Methodenvielfalt stellt daher ein wesentliches Merkmal der Konzeption dar. Hierin unterscheidet sie sich im Wesentlichen von dem Salters-Konzept. Durch offenere Methoden soll den Lernenden dabei verstärkt die Möglichkeit gegeben werden, nach ihren eigenen Schwerpunkten und Stärken zu arbeiten und zu lernen. Dadurch wird die Gestaltung der Lernprozesse zunehmend in die Verantwortung der Lernenden selber gelegt. Aus dem vielfältigen Angebot an offeneren Methoden sollen diejenigen kurz skizziert werden, die sich besonders für den Einsatz in Lernzyklen innerhalb der Konzeption „Chemie im Kontext“ eignen.

Ein *Gruppenbrainstorming* kann in Phasen des Problemlösens gut eingesetzt werden. Während die Schüler und Schülerinnen in Teams ihren Ideenreichtum vortragen, wirkt dabei die ansteckende Eigendynamik des Gedankenspiels motivierend und inspirierend. Zusätzlich wird der Teamgeist durch die gemeinsame Bewertung der Ideen gefördert. Während des Brainstormings sind keine Wertungen oder Problematisierungen zulässig. Alle Ideen, Erklärungen oder Vorschläge, egal, wie realistisch oder abwegig sie sind, werden zunächst einmal akzeptiert, damit sich im ersten Durchgang möglichst viel Kreativität entfalten kann. Die geäußerten Ideen werden anschließend bewertet und diskutiert.

Dazu kann auch die *Moderationsmethode* hilfreich eingesetzt werden. Ziel der Moderationsmethode ist es, für bestimmte Entscheidungen oder Planungen Informationen und Ideen einzelner Gruppenmitglieder zusammenzutragen, auszuwählen und anwendungsbereit zu ordnen. In diesem Prozess arbeiten alle gleichberechtigt zusammen. Ein Moderator oder eine Moderatorin leitet die Schüler und Schülerinnen methodisch, aber nicht inhaltlich an. Die wesentliche Funktion des Moderierens ist das gemeinsame Kommunizieren und die visuelle Dokumentation. Durch den Einsatz von Visualisationstechniken wie z.B. Mindmaps bleiben die Entfaltung und der Austausch von Gedanken aller Lernenden stets sichtbar. Dieser Part wird im Allgemeinen von der Lehrperson übernommen werden, bei geübten Gruppen kann auch ein kompetenter Lernender in diese Rolle schlüpfen.

Durch die Moderations-Methode können Gespräche in Gruppen effektiver gestaltet werden. Zum einen kommen moderierte Diskussionen rascher zu klaren Ergebnissen als herkömmliche Ausspracheformen. Zum anderen werden die Lernenden aktiv in den Gruppenprozess einbezogen, indem alle Meinungen berücksichtigt und zu einer gemeinsamen Problemlösung geführt werden. Die Moderation kann in Phasen gegliedert werden, wobei sich jeweils der Einsatz bestimmter Techniken wie Kartenabfrage, Themenspeicher oder ein Maßnahmenplan ähnliches anbietet. Die Moderations-Methode kann auch als Teilmethode im projektorientierten Unterricht eingesetzt werden.

Eine weitere Grundform des Gruppenunterrichts stellt die *Gruppenproduktion* dar. Hierbei sollen die Schüler und Schülerinnen in Gruppen spezifische themenzentrierte Lernprodukte erstellen, die aufgrund der Materialfülle, der Kompliziertheit des Themas oder der knappen Bearbeitungszeit eine kooperative Arbeitsweise erforderlich machen. Die Gruppenmitglieder müssen sich in produktiver und kooperativer Weise mit den je anstehenden Sachverhalten und Materialien auseinandersetzen. Als Leitmaterialien dienen den Schüler und Schülerinnen Lehrbücher, Lexika, Broschüren und sonstige Lehrmittel, das Produkt kann in Gestalt eines Plakates, einer Reportage, einer Zeitungsseite, eines Features, einer Werbesendung, eines Vortrages oder eines Expertenhearings vorliegen.

Ein Produkt wird auch häufig bei Projektarbeit erstellt. Die Gruppenmitglieder erledigen dabei mittels gruppeninterner oder –externer Arbeitsteilung eine vorgegebene Themenstellung. Gruppenintern heißt hierbei, dass jedes Gruppenmitglied eine spezifische Teilaufgabe innerhalb der Gruppe erfüllt; gruppenextern bedeutet, dass jede Gruppe eine komplexere Teilaufgabe im Rahmen einer größeren Gesamtaufgabe erledigt. Gemeinsame Planungs-, Forschungs-, Produktions- und Präsentationsaktivitäten sind typisch für das Gruppenprojekt.

Soll bereits vorhandenes Wissen auf ein komplexes, praxisorientiertes Problem angewendet werden, eignet sich hierfür als Methode eine *Fallstudie*. Die Schüler und Schülerinnen eignen sich zusätzlich zu ihrem bekannten Vorwissen anhand von Informationsmaterial spezifische Kenntnisse an, mit deren Hilfe sie dann eine bestimmte Problemstellung angehen können. Sie sollen dabei in Gruppen alternative

Lösungsstrategien erarbeiten, die begründet und häufig auch mit bereits getroffenen Entscheidungen in der Realität verglichen werden. In der Gruppendiskussion erwerben sie die Fähigkeit, alternativen Lösungsmöglichkeiten zu suchen, sich für eine Alternative zu entscheiden und diese zu begründen. Die Schüler und Schülerinnen arbeiten in Gruppen von vier bis sechs Personen. Die Fallstudie wird je nach Komplexität über mehrere Unterrichtsstunden bearbeitet. Neben dem Medium Sprache werden Tabellen, Diagramme, Fotografien, Schaubilder, Karikaturen, Szenarien usw. eingesetzt.

Es gibt verschiedene Varianten der Fallstudie, die sich in der Darstellung der Fall-Vorlage, der Aufnahme und Verarbeitung der Informationen, der Entscheidungsfindung, der Problemstellung sowie der Lösungskritik unterscheiden: So sind bei der Case-Study-Methode die Fälle oft sehr umfangreich, weil den Lernenden neben der Fallschilderung auch das ganze Informationsmaterial zur Verfügung steht. Anhand der gegebenen Informationen müssen verborgene Probleme analysiert, Lösungsvarianten des Problems ermittelt, Entscheidungen gefällt und die Lösung mit der Realität verglichen werden.

Bei der Case-Problem-Methode wird das Problem in der Fallschilderung ausdrücklich genannt. Der Schwerpunkt liegt hier in der umfassenden Erarbeitung von Lösungsvarianten und der ausführlichen Diskussion der Entscheidungen, während bei der Case-Incident-Methode die selbstständige Informationsbeschaffung im Mittelpunkt steht. Der zu bearbeitende Fall bleibt deshalb unvollständig und lückenhaft.

Bereits fertige Lösungen und Begründungen werden bei der State-Problem-Methode präsentiert. Die Aufgabe hierbei besteht darin, wirkliche Entscheidungsvorgänge nachzuvollziehen und dabei Einsichten in die Entscheidungsstruktur zu gewinnen. Die getroffenen Entscheidungen sollen zudem kritisch beurteilt und ggf. alternative Lösungsvorschläge aufgezeigt werden.

Als stärker selbstgesteuerte Methoden gelten das Gruppenpuzzle und das Stationenlernen.

Beim *Gruppenpuzzle* erhalten die Gruppenmitglieder zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe unterschiedliche Teilinformationen, die arbeitsteilig erarbeitet und anschließend mosaikartig zusammengetragen werden müssen, damit am Ende eine

Gesamtübersicht über ein Thema entsteht⁸⁷. Die Spezialinformationen können die einzelnen Gruppenmitglieder in der ersten Phase (Expertenrunde) entweder in Einzelarbeit direkt am Tisch oder aber in vorgelagerten Expertengruppen erarbeiten. Letztere haben dabei den Vorteil, dass vertiefende Rückfragen und Gespräche untereinander möglich sind. Durch das anschließende Zusammenfügen der Spezialinformationen ergibt sich zwangsläufig eine sehr enge Kooperation. Auch sollen sich die Schüler und Schülerinnen Gedanken über die Vermittlung der Inhalte machen. In der zweiten Phase werden die Gruppen neu gruppiert, so dass in jeder neuen Gruppe ein Experte oder eine Expertin des jeweiligen Teilbereiches vertreten ist. In dieser Unterrichtsrunde unterrichten sich die Schüler und Schülerinnen dann selbst. Die Lehrperson nimmt während dieser Phasen eine zurückgezogene, moderierende Rolle ein.

Empirische Untersuchungen zur Wirksamkeit dieser Methode zeigen eine Stärkung des Selbstvertrauens und der Wertschätzung der Schüler und Schülerinnen untereinander. Des Weiteren wurde ein tendenziell größerer Lernerfolg beobachtet als bei lehrerzentriertem Unterricht⁸⁸, wengleich diese Variable stark vom Gelingen des Gruppenpuzzles abhängt.

Stationenlernen ist ebenfalls eine Form des offenen Unterrichts. Die Schüler und Schülerinnen erarbeiten das in verschiedene Teilaspekte differenzierte Thema im Rahmen von Lernstationen weitgehend selbständig⁸⁹. Die an den Stationen zu lösenden Arbeiten werden entweder in Einzel-, Partner-, oder Gruppenarbeit durchgeführt. Die für die verschiedenen Stationen vorgesehenen Lernziele sind so aufeinander abgestimmt, dass die übergreifenden Unterrichtsziele erreicht werden können. Jede Lernstation muss neben den erforderlichen Arbeitsmaterialien auch die entsprechenden Arbeitsaufträge sowie Möglichkeiten der Selbstkontrolle anbieten. Die Schüler und Schülerinnen können hier über die Reihenfolge der Arbeit und über die Verweildauer an jeder Station weitgehend selbst bestimmen. Besonderer Wert ist auf unterschiedliche Herangehensweisen bei den einzelnen Stationen zu legen, um unterschiedliche

⁸⁷ Rotering-Steinberg, 1992, S. 28

⁸⁸ Frey-Eiling, & Frey, 2000, S.52

⁸⁹ Hegele, 2000, S. 59

Lerntypen ansprechen zu können. Auch Binnendifferenzierung kann durch ein Angebot von fakultativen Stationen (Additum) zu obligatorischen Stationen (Fundamentum) gewährleistet werden. In einem abschließenden Gespräch berichten die Schüler und Schülerinnen über ihre Arbeiten, Lernergebnisse, Probleme etc.

Mit dieser Methode gelingt es unterschiedliche Sinne anzusprechen und verschiedene Lerninteressen bzw. Leistungsniveaus der Schüler und Schülerinnen zu berücksichtigen. Wichtig ist, dass die Schüler und Schülerinnen bereits selbstständig arbeiten, Arbeitsanleitungen verstehen und mit anderen Schüler und Schülerinnen zusammenarbeiten können. Stationenarbeit muss jedoch ihrerseits ausreichend Möglichkeiten bieten, diese Fähigkeiten zu erproben und weiterzuentwickeln. Das Stationenlernen ist gekennzeichnet durch: Selbsttätigkeit und Selbständigkeit durch Mitbestimmung bei der Gestaltung des eigenen Lernens, Berücksichtigung individueller Lerninteressen und Lernvoraussetzungen und eine stärkere Betonung des sozialen Lernens durch die Eröffnung schülerorientierter Handlungsfelder.

Aber nicht nur bei der Erarbeitung, sondern auch zum Üben und Wiederholen gibt es ein Angebot an kooperativen Methoden.

Beim *Gruppenwettbewerb* stehen die einzelnen Arbeitsgruppen unter verschiedenen Gesichtspunkten miteinander im Wettbewerb. Die Wettbewerbssituation soll in der betreffenden Arbeitsgruppe eine relativ enge und intensive Zusammenarbeit induzieren. Dabei muss eine Situation entstehen, in der die leistungsschwachen Schüler und Schülerinnen in gleichem Maße für das Ergebnis der Gruppe verantwortlich sind und die leistungsstärkeren Schüler und Schülerinnen auch das Verständnis bei den schwächeren Schüler und Schülerinnen fördern müssen. Man muss sich thematisch auf Inhalte beschränken, die sich für eine Wettbewerbssituation eignen. Deshalb dient die Methode eher zur Fehlerminimierung oder Wiederholung abfragbaren Wissens als zur Erarbeitung.

Ähnliche Ziele verfolgt auch die *Gruppenrallye*⁹⁰. Bei der *Gruppenrallye* müssen die Gruppenmitglieder in einem mehrstufigen themenzentrierten Arbeitsprozess versuchen,

⁹⁰ Rotering-Steinberg, 1992, S.29

ihr Gruppenergebnis so weit wie möglich zu verbessern, um in der Rangskala der Gruppen aufzusteigen. Der Arbeitsprozess gliedert sich in Übungsphase und Testphase mit anschließendem Ranking. Voraussetzung ist, dass mehrere Pakete mit Übungs- und Testaufgaben bereitgestellt werden. Die Bearbeitung dieser Pakete erfolgt in Etappen. Das entsprechende Stoffgebiet soll mit Hilfe von Schulbüchern, eigenen Unterlagen und anderen Medien wiederholt werden. Das Ziel in den nachfolgenden Übungs- und Testphasen ist es, einen möglichst guten Rangplatz zu erreichen. Die Mitglieder bilden eine leistungsheterogene Gruppe, die nach dem Zufallsprinzip ausgesucht werden. Die Gruppenrallye soll die Zusammenarbeit und den Austausch zwischen leistungsstarken und -schwachen Schülern und Schülerinnen fördern. Die Gruppenrallye bietet sich dort an, wo bestimmte Stoffgebiete systematisch in Gruppen geübt werden sollen, z.B. beim Aufstellen von Reaktionsgleichungen oder bei stöchiometrischen Berechnungen.

3 Der Gesamtkontext „Kunststoffe nach Maß“

Natürliche Polymere werden seit langem genutzt (z. T. schon in der Steinzeit) und auch teilweise für den Gebrauch modifiziert (Gerben von Leder). Bekannt ist hier die gezielte Nutzung verschiedener Harze wie bei Gummibällen der Maya oder beim Asphalt der Ägypter. Die industrielle Produktion von synthetischen Polymeren, den „Kunststoffen“, begann Anfang des 20. Jahrhunderts aufgrund des damals herrschenden Mangels an traditionellen Werkstoffen. Angefangen von ersten Vulkanisationsversuchen an Naturkautschuk (1839) über die erste Synthese eines harzähnlichen Stoffes durch Reaktion von Phenol mit Methanal (1907 durch den belgischen Chemiker Baekeland) vollzog sich eine stürmische Entwicklung bis hin zur Synthese von vollsynthetischen Kunststoffen und den heute allgegenwärtigen Massenkunststoffen wie Polyethylen, Polyvinylchlorid, Polypropylen oder Polystyrol. Weltweit wurden 1998 über 158 Millionen Tonnen Kunststoff produziert, für das Jahr 2005 wird sogar ein Anstieg auf 220 Millionen Tonnen prognostiziert.⁹¹

Der Vorteil dieser Werkstoffe liegt in ihrer guten Verarbeitbarkeit, im niedrigen spezifischen Gewicht, ihrer hohen Beständigkeit gegen Korrosion und Verrottung und der leichten Formgebung sowie in ihrem niedrigen Preis. Dabei werden Kunststoffe in der Regel als Verkleidungen, für Gehäuse, zur mechanischen Stabilisierung oder für Gefäße eingesetzt. Die Bauteile eines technischen Gerätes, die seine Funktion ausmachen, sind in der Regel aus anderen Materialien hergestellt.

Fortschritte in der Polymerchemie in Form von Variation und Optimierung der Monomerverhältnisse, Polyreaktionsbedingungen sowie der Verarbeitungs- und Blendetechniken ermöglichen mittlerweile die Herstellung von Kunststoffen mit ganz spezifischen Eigenschaften. Faktoren wie die Auswahl der Monomere, die Einstellung der Molmasse und Molmassenverteilung, die Herstellung von Copolymeren, die Kontrolle der Polymerarchitektur und die Materialmorphologie erlauben ein „Maßschneidern“ der gewünschten Polymere. Zunehmend wird auch die Erzeugung

⁹¹ Sann, 2000, S. 2

von Nanostrukturen im Material und an der Polymeroberfläche sowie der Aufbau komplexer Strukturen über nicht-kovalente Bindungen berücksichtigt.

Zunächst bestimmen die Monomerbausteine Eigenschaften wie Kettensteifigkeit, chemische Resistenz und Funktionalität. Dadurch können die mechanische Festigkeit, die Glasübergangs- und die Zersetzungstemperatur sowie die Löslichkeit der Polymere eingestellt werden. Die Molmasse und die Molmassenverteilung erlauben weiterhin die Einstellung der Viskosität, die z.B. für die Verarbeitung sehr wichtig ist. Vielfach wird das Optimum der Materialeigenschaften erst ab einer kritischen Molmasse, der so genannten Entanglement-Molmasse M_c , bei der die Polymerketten ausreichend verschlaufen können, erreicht. Ein weiteres Kriterium für das gezielte Maßschneidern der Polymere ist die Einstellung der Architektur der Polymerketten. Diese können linear, aber auch lang- und kurzkettenverzweigt dargestellt werden. Verzweigungen, insbesondere bei Stern- und Kammpolymeren, verändern sehr stark das schmelzrheologische Verhalten der Polymere. Dadurch werden die Filmbildung bei Beschichtungen und Lacken und auch die Verarbeitungsbedingungen z.B. beim Spritzguss oder der Extrusion beeinflusst. Ein Spezialfall mit sehr hoher Verzweigung stellen die seit Mitte der 70er Jahre entwickelten Dendrimere dar, die u. a. im Medizinbereich Anwendung finden, ebenso wie die weniger regelmäßig hochverzweigten Polymere, deren hohe Funktionalität kombiniert mit niedriger Viskosität den Einsatz als Additive in Blends und Beschichtungen erlauben.

Bilden sich zusätzlich zur Verzweigung auch Vernetzungspunkte aus, verändert sich dadurch sowohl das Eigenschafts- wie auch das Verarbeitungsprofil. Die entstehenden Netzwerke sind nicht mehr löslich und in der Regel nicht mehr schmelzbar.⁹² Elastizität, Festigkeit und auch die Quellbarkeit, z.B. bei superabsorbierenden Polymeren, werden durch den Vernetzungsgrad eingestellt.

Beispiele für die von Polymerchemikern kreierte „High-Tech“-Werkstoffe findet man viele: Flüssigkristalline Stabpolymere können z.B. zu hochfesten Fasern versponnen werden, die in der Zugfestigkeit an Stahl heranreichen und im Brücken- und Flugzeugbau als Verstärkungsfasern eingesetzt werden. Auch für Sportgeräte wie

⁹² mit Ausnahme der thermoplastischen Elastomere, die nur auf physikalischen, nicht auf kovalent verbundenen Netzpunkten beruhen.

Hängegleiter und Tennisschläger sowie für kugelsichere Westen werden diese Aramidfasern benutzt.

Durch eine weitere Variante in der Synthese von Polymeren, nämlich durch das Dotieren von Polymeren mit konjugierten Doppelbindungen, sind leitfähige Polymere entstanden, die (wie z.B. Polyacetylen) annähernd die Leitfähigkeit von Kupfer besitzen. Man bezeichnet diese Kunststoffe wie Polypyrrol, Polythiophen oder – phenylen daher auch als „synthetische Metalle“.

Jede neue solche Anwendung bezeugt also einmal mehr, in welchem hohem Maße sich die Eigenschaften und damit auch die Funktionen von Polymeren maßschneidern lassen. Aufgrund dessen werden die nach den spezifischen Anforderungen gefertigten Produkte der Polymerchemie auch als Funktionspolymere oder funktionale Polymere bezeichnet. Im Gegensatz zu Strukturpolymeren werden diese häufig als Additive und Prozesshilfsmittel eingesetzt. Sie sorgen beispielsweise in Haarsprays für die Festigkeit der Frisur ohne zu verkleben, oder sie werden in Textilien verarbeitet, die somit wasserdicht, aber wasserdampfdurchlässig werden. Weitere Einsatzgebiete funktionaler Polymere findet man in der Lebensmitteltechnologie zur Entfernung von unerwünschten Nebenkomponenten in Getränken, als Inkrustations- und Farbübertragungsinhibitoren in Waschmitteln oder als Superabsorber in Babywindeln und Inkontinenzprodukten. Homo- und Copolymere von Acrylsäure, Acrylamid, Vinylpyrrolidon oder Vinylacetat stellen die wesentlichen chemischen Bausteine zum „Maßschneidern“ der Polymere dar.

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, den Themenbereich dieser „modernen maßgeschneiderten Polymere“ schulrelevant aufzuarbeiten. Bei einer Analyse der fachdidaktischen und Schulbuch-Literatur findet man kaum Beispiele für diese modernen Kunststoffe und entsprechend wenig experimentelle Ausarbeitungen⁹³. So müssen aus dem breiten Spektrum dieser Polymere für den Schulbereich passende Beispiele extrahiert und in Lernzyklen mit Experimenten und Materialien unter Berücksichtigung der skizzierten Anforderungen der Konzeption „Chemie im Kontext“ didaktisch umgesetzt werden. So wurden nach diesen Kriterien zwei Kontexte

⁹³ Die für diese Arbeit relevante Literatur ist in den jeweiligen Kapiteln zu den Lernzyklen zitiert.

ausgewählt und in Form von Lernzyklen ausgearbeitet, die im Folgenden vorgestellt werden.

Den Anfang bildet ein Lernzyklus zum Thema „Superabsorbierende Polymere“. Als Kontext ist die Geschichte der Entwicklung von Löschwasseradditiven aus Superabsorbentien gewählt worden, wobei diese ihren Anfang nahm, als einem Feuerwehrmann eine benutzte Windel als einziger unverbrannter Gegenstand eines Hausbrandes auffiel. Ausgehend von dieser Story lassen sich Aufbau, Funktionsweise und Darstellung quervernetzter, partiell neutralisierter Polyacrylsäure demonstrieren.

Zur Vertiefung und Vernetzung der Inhalte wurde ein zweiter Lernzyklus zum Thema „leitfähige Polymere“ konzipiert, der von den zunehmend in Mobiltelefonen eingesetzten Lithium-Polymer-Akkumulatoren als schülerrelevanten Kontext ausgeht.

4 Der Lernzyklus „Superabsorbierende Polymere“

4.1 Fachliche Grundlagen

Superabsorbierende Polymere sind vernetzte Makromoleküle, die in kurzer Zeit in Wasser oder wässrigen Lösungen bis zum Tausendfachen ihrer Eigenmasse aufquellen ohne sich aufzulösen. Hierbei bildet sich bis zur Gleichgewichtseinstellung ein transparentes Hydrogel, welches auch unter Einwirkung äußerer Kraft die Flüssigkeit bindet.

Bei dem gebildeten Hydrogel handelt es sich um eine Art Verbundstoff - ein dreidimensionales Netzwerk aus Polymermolekülen, in dem die Lücken und Hohlräume durch Wasser ausgefüllt werden. Das Netzwerk besteht aus Polymerketten, die durch kovalente Bindungen verknüpft sind. Die Vernetzung ist notwendig, um die Unlöslichkeit des Polymers in Wasser zu gewährleisten.

Diese Verknüpfungspunkte sind aber nur vereinzelt entlang der Ketten eingebaut. Damit bleibt das Netzwerk flexibel und kann sich ausdehnen oder zusammenziehen: Je größer der Grad der Quervernetzung ist, desto kleiner sind die Poren des Netzwerkes und desto geringer die Quelfähigkeit des Polymers. Die Quellung ist reversibel, d.h. das Wasser kann auch wieder abgegeben werden. Die Quervernetzung der Polymerketten kann prinzipiell auf drei unterschiedliche Arten erfolgen: kovalent, ionisch und physikalisch.⁹⁴ Kovalente Quervernetzungen werden entweder durch radikalische Copolymerisation des Hauptmonomers (z.B. Acrylsäure) mit einem bifunktionellen Co-Monomer (mit mehreren Vinylgruppen, z.B. N, N'-Methylenbisacrylamid) oder nachträglicher Reaktion der Polymerketten mit einem multifunktionalen Agens (z.B. Veresterung der Carboxylgruppen mit Diolen) erhalten. Die Quervernetzung kann jedoch auch ionisch durch mehrwertige, zur Polymerkette entgegengesetzt geladene Ionen (z.B. Aluminium-, Chrom- oder Ammoniumionen) oder physikalisch durch Wasserstoffbrückenbindungen zwischen einzelnen Kettensegmenten (wie z.B. zwischen

⁹⁴ Buchholz, 1998, S. 10

den Polypeptidketten in Gelatinelösung) erfolgen. Derartige Vernetzungen sind jedoch thermisch nicht stabil.

Hydrogele findet man auch in der Natur. Ihre Eigenschaften nutzt man z. T. auch in der Nahrungsmittel- und in der kosmetisch- pharmazeutischen Industrie, wie z.B. Pektin (Gelierfähigkeit von Marmelade), Agar, Alginate oder Carrageenan⁹⁵ (als Binde- und Geliermittel). Des Weiteren sind noch Knorpelgewebe, das lichtdurchlässige Kollagenfibrillennetzwerk im Glaskörper des Auges oder Mucoproteine⁹⁶ (sialinsäurehaltige Glykoproteine in Körperschleimen) als natürliche Hydrogele anzuführen. So ist z.B. in der elektrolytabhängigen Quellfähigkeit des Mucoproteins im Respirationstrakt ein Teil der Symptomatik bei der Erbkrankheit Mucoviscidose zu suchen.⁹⁷

Kommerzielle superabsorbierende Polymere bestehen in der Regel aus kovalent quervernetzten Polymergerüsten. Aufgrund ihrer wirtschaftlichen Relevanz und der experimentellen Verfügbarkeit in der Schule werden im Folgenden die Synthese und Eigenschaften der superabsorbierenden Polymere anhand von partiell neutralisierter, kovalent quervernetzter Polyacrylsäure erläutert.

Quervernetzte, quellbare Polyacrylsäure wurde bereits 1938 von W. Kern beschrieben.⁹⁸ Anfang der 50er Jahre veröffentlichten Kuhn/Katchalsky weitergehende Untersuchungen einschließlich theoretischer Beschreibungsansätze zur Gleichgewichtsquellung und Salzakkumulation bei Polymethacrylsäure-Gelen.⁹⁹ Als erste praktische Anwendung findet man in den späten 50er Jahren die Verwendung von Hydrogelen auf der Basis von Hydroxyalkylmethacrylat als weiche Kontaktlinsen. Außerdem wurde vernetztes Kaliumpolyacrylat als wasserimmobilisierendes Agens für Feuerlösch-einsätze zum Patent (1966) angemeldet. Das erste Patent für quervernetzte Polyacrylate zur Verwendung von Windeln stammt aus dem Jahr 1968; allerdings begann die kommerzielle Produktion für Hygieneprodukte erst 1978 in Japan und in den 80er Jahren auch in den USA und Europa.

⁹⁵ Twenhöwen, 1997, S. 41

⁹⁶ Dusek, 1993, Vol II, S. 153

⁹⁷ Cotran, 1993, S. 641

⁹⁸ Kern, 1938, S. 257

⁹⁹ Katchalsky, & Michaeli, 1951, S. 69 und Kuhn & Künzle & Katchalsky, 1948, S. 1994

4.1.1 Darstellung von Natriumpolyacrylat

Superabsorbierende Polyacrylate werden durch radikalische (Co-)Polymerisation von Acrylsäure und ihren Salzen mit einem „Crosslinker“ synthetisiert. Dies kann sowohl in wässriger Lösung als auch als Suspensionspolymerisation in wässrigen Lösungen mit hochmolekularen aliphatischen Kohlenwasserstoffen durchgeführt werden, was sehr kleine Produktpartikel erzeugt und eine nachträgliche Behandlung der Partikeloberfläche ermöglicht.¹⁰⁰

Das Ausgangsmonomer, die Acrylsäure (Propensäure, $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$) ist eine brennbare, farblose, mit Wasser mischbare Flüssigkeit, die ohne Zusatz von Stabilisatoren schon bei längerem Stehen polymerisiert. Durch Zugabe von Initiatorradikalen wird dieser Prozess beschleunigt. Die radikalische Polymerisation der Acrylsäure ist ein exothermer Prozess ($\Delta H_{\text{polym}} = -77,4 \text{ kJ/mol}$)¹⁰¹. Die entstehenden Polyacrylsäuren sind wasserlöslich, insbesondere ihre Salze¹⁰². Führt man die Polymerisation jedoch in Gegenwart geringer Mengen einer Verbindung mit zwei (oder mehr) polymerisierbaren Doppelbindungen durch, so entstehen Quervernetzungen zwischen den einzelnen Polymerketten und somit ein dreidimensionales Netzwerk, was zur Unlöslichkeit der Substanzen führt.

Ein wachsendes Makroradikal reagiert z.B. mit einer Doppelbindung eines difunktionellen Moleküls und setzt die Kettenreaktion unter Beibehaltung der zweiten Doppelbindung fort. Diese kann nun mit einem anderen Makroradikal reagieren und verknüpft somit zwei wachsende Polymerketten. Am so genannten „gel point“ sind genug Ketten miteinander verknüpft, um ein makromolekulares Netzwerk zu bilden. Das System wandelt sich von einer viskosen Masse zu einem elastischen Feststoff um.¹⁰³ An diesem Punkt hat jedoch erst ein minimaler Teil der Monomere reagiert. Diese werden nun in das bestehende Grundgerüst eingebaut. Die Menge an quervernetzenden Substanzen bestimmt im Folgenden die Wasseraufnahmekapazität

¹⁰⁰ Graham & Wilson, 1994, S. 104

¹⁰¹ Staples, & Henton & Buchholz, 1998, S. 24

¹⁰² Sie werden u.a. als Verdickungsmittel in Kosmetika eingesetzt.

¹⁰³ Kinney & Scranton, 1994, S. 3

des Gels, da eine hohe Dichte an Quervernetzungen die Möglichkeit der Ausdehnung des Polymergerüsts einschränkt. Die Menge an Quervernetzungen in kommerziell erhältlichen Superabsorbentien beträgt 0,05 mol pro Liter trockenem Polymer.¹⁰⁴ Die Palette der einsetzbaren Vernetzer reicht von difunktionellen Molekülen wie Diacrylatestern und Allylmethacrylaten, über trifunktionellen bis hin zu tetrafunktionellen Reagenzien wie Triallylaminen oder Tetraallyloxyethanen.

Zum Starten der radikalischen Polymerisation gibt es ebenfalls eine große Bandbreite an geeigneten Startern. Zur Erzeugung der freien Radikale werden thermische oder photochemische Initiatoren, Redoxsysteme oder Kombinationen von ihnen genutzt. Geeignete Redoxsysteme stellen Kombinationen von Persulfaten bzw. Peroxiden mit Bisulfiten, Thiosulfaten oder Ascorbaten dar. Für thermische Radikalinitiatoren setzt man Persulfate, 2,2'-Azobis(2-amidinopropan)-dihydrochlorid oder 2,2'-Azobis(4-cyanopentansäure) ein. Kombinationen werden hauptsächlich bei Polymerisationen in einem niedrigen Temperaturbereich bevorzugt.¹⁰⁵

Großtechnisch wird die monomere Acrylsäure bereits vor dem eigentlichen Polymerisationsprozess partiell zu Natriumacrylat neutralisiert. An diesen Prozess schließen sich Trocknungs-, Mahl- und Siebvorgänge als abschließende Oberflächenveredlungen an.

4.1.2 Quellvorgang

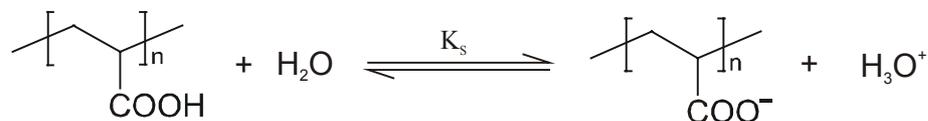
Das Quellen der superabsorbierenden Polymere in wässriger Lösung ist ein außerordentlich komplexer Prozess. Es gibt noch kein theoretisches Modell, welches die Vorgänge umfassend beschreiben und voraussagen kann.¹⁰⁶ Im neutralen Gel können die zwei Effekte für die relativ schwachen Quellvorgänge verantwortlich gemacht werden: die Wechselwirkungen zwischen Polymergerüst und Lösungsmittel, die im großen Maße vom Vernetzungsgrad abhängen, sowie die Elastizität des Polymergerüsts, die dem Quellvorgang mit zunehmender Dauer entgegenwirkt.

¹⁰⁴ Buchholz, 1996, S. 514

¹⁰⁵ Staples & Henton & Buchholz, 1998, S. 21

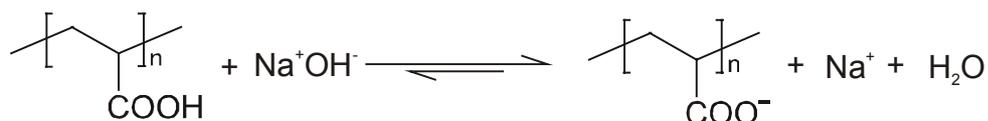
¹⁰⁶ Buchholz, 1998, S. 167

In wässriger Lösung existiert das folgende Gleichgewicht:



Die Polyacrylsäure ist bei einem pK_s -Wert von 4,7 eine noch schwächere Säure als ihr Monomer (pK_s von Acrylsäure: 4,26). Es ergibt sich ein Verhältnis von 0,002 - 0,008 Carboxylat-Gruppen pro Polymereinheit¹⁰⁷, im Folgenden Ionisationsgrad genannt.

Der Ionisationsgrad lässt sich durch Quellen in einem basischen Medium – also durch Neutralisation der Polyacrylsäure – erhöhen:



Er entspricht dann in etwa dem Verhältnis der Konzentrationen von Base und Acrylsäuremonomer.¹⁰⁸ Die negativen Ladungen der Carboxylat-Gruppen werden durch die Kationen der Base (in diesem Fall der Natriumionen) ausgeglichen. Das Quellvermögen der quervernetzten Polyacrylsäure steigt mit zunehmendem Ionisationsgrad rapide an und erreicht bei 0,35 ein Maximum. Eine zusätzliche Ionisierung der Carboxylgruppen zu Carboxylatgruppen führt zu keiner weiteren Vergrößerung des Quellvermögens. Derart ionisierte Makromoleküle werden auch als Polyelektrolyte bezeichnet.

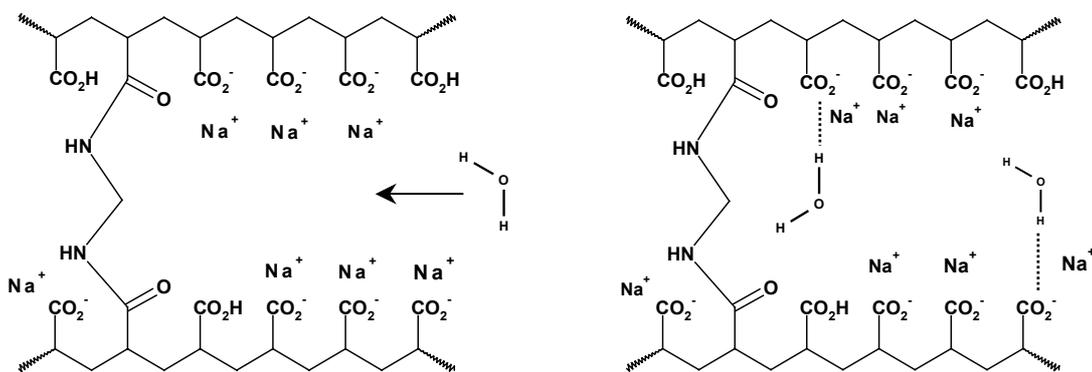
Zu den oben genannten Effekten bei der Polyacrylsäure kommen zusätzliche Wechselwirkungen zwischen den geladenen Gruppen in der Polymerkette, sowie – und dies stellt den dominierenden Faktor beim Quellen eines Polyelektrolyten dar – die Wirkung

¹⁰⁷ Silberberg-Bouhnik, 1995, S. 2270

¹⁰⁸ ebd. S. 2271

der freien Ionen auf den osmotischen Druck, wie sie im Folgenden kurz dargestellt werden soll.

Ein Partikel getrockneter, zuvor mit Natronlauge partiell neutralisierter Polyacrylsäure verfügt in seinem Inneren über eine große Konzentration an Natriumionen. Gibt man das trockene Polymer in ein thermodynamisch günstiges dielektrisches Lösungsmittel (wie in diesem Fall Wasser), quillt das Polymer so lange auf, bis die rücktreibenden elastischen Kräfte des Polymernetzes den Druck der einströmenden Lösungsmittelmoleküle gerade kompensieren. Infolge der zum umgebenden Solvens relativ hohen Konzentration an Natriumionen im Polymer entsteht nämlich ein „osmotischer Druck“¹⁰⁹. Er bewirkt, dass Wassermoleküle bevorzugt in das Polymer hinein diffundieren und den osmotischen Gradienten zwischen Polymer und umgebender Lösung verringern. Es kommt zur Solvataion der Acrylatgruppen und die Wassermoleküle werden durch Wasserstoffbrückenbindungen in dem dreidimensionalen Netzwerk festgehalten.

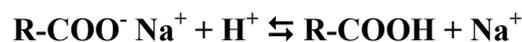


Das Polymernetz wirkt dabei wie eine semipermeable Membran, die zwar Wassermoleküle einströmen, aber kaum Natriumionen ausströmen lässt, da diese durch Coulombkräfte zwischen ihnen und den Carboxylatgruppen im Inneren des Gels festgehalten werden. Die Gegenionen (Na⁺) zu den geladenen Carboxylatgruppen des Polymers müssen weitgehend bei den Polymerketten lokalisiert sein, um die Elektroneutralität zu wahren. Nur wenige Natriumionen können somit entlang ihres

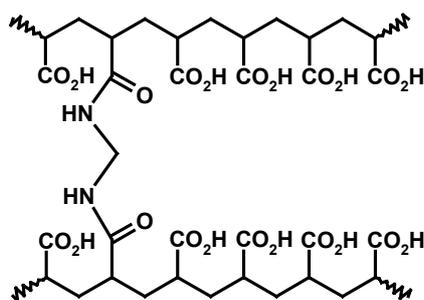
¹⁰⁹ als Spezialfall der von DONNAN beschriebenen Membrangleichgewichte nennt man diese Erscheinung auch DONNAN-osmotischer Effekt

Konzentrationsgradienten ins umgebende Medium (mit geringerer Na^+ -Ionenkonzentration) gelangen.

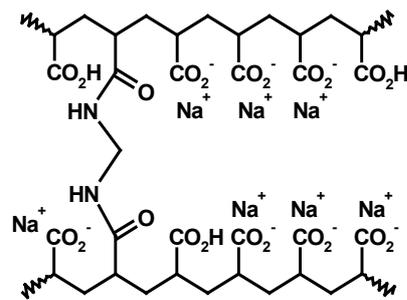
Wegen der ausgeprägten ionischen Wechselwirkungen im „Inneren“ eines solchen Polymers hat die Zugabe von Salzen und Säuren bzw. Laugen einen beträchtlichen Einfluss auf das Quellvermögen der superabsorbierenden Polymere. In Leitungswasser und erst recht in einer Salzlösung wie z.B. von Natriumchlorid ist das Absorptionsvermögen wesentlich geringer als in destilliertem Wasser, da der osmotische Gradient kleiner ist als in reinem Wasser. Der vermehrte Eintrag von positiv geladenen Ionen in das Polymermolekül bewirkt, dass die anionischen Carboxylatgruppen der Polymerketten vermehrt elektrostatisch neutralisiert werden. In einer Calciumchloridlösung ist die Absorptionsfähigkeit noch weiter vermindert, da es zusätzlich noch zu einem Ionenaustausch zwischen den Calciumionen des Lösungsmittels und den im Polymer enthaltenen Natriumionen kommt. In der Folge bilden sich zusätzliche Quervernetzungen (z.B. $(-\text{COO}^- \text{ ---- } \text{Ca}^{2+} \text{ ---- } ^-\text{OOC}-)$ -Brücken) im Gel aus, was seine Dehnbarkeit und somit die Quellfähigkeit stark sinken lässt. Auch gegenüber Änderungen des pH-Wertes reagiert das Hydrogel sensibel. Das Gelvolumen ist bei niedrigem pH-Wert sehr gering, da hier aufgrund der Protolyse der Carboxylat-Gruppen fast ausschließlich Carboxyl-Gruppen vorliegen, so dass die elektrostatischen Abstoßungskräfte deutlich verringert werden.



Die freigesetzten Natriumionen diffundieren aus dem Polymer heraus, was zusätzlich zu einem verringerten osmotischen Gradienten zwischen Polymer und umgebender Lösung führt.



bei niedrigem pH-Wert: Deionisierung,
kaum elektrostatische Abstoßung



bei hohem pH-Wert: Coulomb-Abstoßung
durch Gegenionen verringert

Bei Zugabe von Natronlauge steigt das Volumen zum Neutralpunkt hin an (viele COOH-Gruppen, wenige COO⁻-Gruppen) und erreicht ein Maximum im leicht basischen Bereich. Bei weiter steigendem pH-Wert sinkt das Volumen aufgrund der zunehmenden Konzentration an Carboxylat-Gruppen wieder (Coulomb-Abstoßung).

Wegen der gleichzeitig ansteigenden Konzentration an Gegenionen (z.B. Na⁺) in diesem Milieu werden diese Abstoßungskräfte jedoch so stark vermindert, dass es im Endeffekt zu einer Abnahme des Gelvolumens kommt.

4.1.3 Industrielle Anwendung

Aufgrund ihrer außergewöhnlichen Absorptions- und Retentionsfähigkeit werden die superabsorbierenden Polymere wirtschaftlich in erster Linie für Hygieneartikel wie Babywindeln, Damenbinden und Inkontinenzprodukte genutzt. 1994 wurden ca. 80% der Weltjahresproduktion zur Fabrikation dieser Produkte verwendet. Der Zusatz von superabsorbierenden Polymeren bei Windeln hatte eine Ersparnis von jährlich über 60% des Zellstoffs zur Folge, was eine erhebliche Reduzierung der Müllmenge bedeutet. Gleichzeitig kann man eine Erhöhung der Absorptionsfähigkeit feststellen. Allein in Westeuropa müssen im Jahr 16 Milliarden Windeln entsorgt werden. Die positiven Umweltaspekte sind in Ökobilanzen verschiedener Institute bestätigt worden.

Nach und nach etablierten sich auch Märkte für spezielle Anwendungsmöglichkeiten, für die der gebräuchlichste Polymertyp (auf Basis der Polyacrylsäure) jedoch nur selten geeignet ist. Außer für Hygieneprodukte werden die SAP in der *Kabelindustrie* gebraucht. Energie- und Nachrichtenkabel werden mit Vliesen umhüllt, in die SAP-Partikel eingebracht werden. Bei Wassereintrich können die SAP das eindringende Wasser absorbieren, Risse abdichten und damit einen Wassertransport entlang des Kabels verhindern. Diese wurden z.B. auch im „chunnel“ zwischen England und Frankreich eingesetzt.

Superabsorbierende Polymere zeigen noch stärkeres hygroskopisches Verhalten bei hoher Luftfeuchtigkeit als Silicagel und sie können zur Luftfeuchtigkeitsregulierung in Kellern und Lagerhallen verwendet werden. [Geeignete superabsorbierende Polymere absorbieren z.B. größere Mengen von Wassermolekülen aus der Gasphase bei 90% relativer Luftfeuchtigkeit und setzen diese bei 60% Luftfeuchte wieder frei.]

In der *Verpackungsindustrie* erfolgt der Einsatz von SAP beim Transport von feuchtigkeitsempfindlichen Lebensmitteln wie z.B. Reis. Ihre Verwendung in Saugeinlagen beim Transport von stark flüssigkeitsabsondernden Lebensmitteln wie Fisch, Muscheln oder Geflügel ist möglich, weil sie als toxikologisch unbedenklich gelten. Bei zu kühlenden Lebensmitteln wird oft die Kühlflüssigkeit ins Polymer eingeschlossen. Die Fähigkeit, das Wasser für längere Zeit zu speichern, wird auch in der Landwirtschaft genutzt (als Wassergehalts- und Nährstoffregulatoren für Zierpflanzenbau, Anlage von Golfplätzen und Fußballstadien). Speziell in ariden Gebieten wird ein Absickern des Wassers verhindert: „SAPs could transform deserts into green fertile land“.¹¹⁰ Dazu existieren große Flächenversuche in Ägypten und Israel.

In der *biochemischen Analytik* werden die Polymere für die Gelelektrophorese und Gelchromatographie gebraucht, wo Moleküle getrennt werden, weil sie unterschiedlicher Geschwindigkeit durch die Poren des Gels wandern.

Im *Medizinbereich* werden Dialysemembranen, Wundverbände bei Verbrennungen und auch weiche Kontaktlinsen unter Verwendung von Hydrogelen hergestellt. Neuartige Verbandstoffe zur feuchten Wundbehandlung bei chronischen Wunden enthalten als zentralen Bestandteil ebenfalls superabsorbierende Polymere.¹¹¹ Die Wundauflagen besitzen als zentralen Bestandteil einen Kern aus superabsorbierendem Polymer. Einige Präparate werden mit Ringerlösung (einer isotonischen Lösung, deren osmotischer Druck dem des normalen Blutes gleicht) angereichert, die dann bei direktem Kontakt zur Wunde resorbiert werden kann. Durch die permanente Abgabe dieser Lösung können Nekrosen aufgeweicht und gleichzeitig keimbelastetes Wundexsudat und Toxine absorbiert werden. Dieser Austausch wird durch eine höhere Affinität gegenüber proteinhaltige als für salzhaltige Lösungen ermöglicht. Das Wundexsudat verdrängt somit die Ringerlösung aus dem Wundkissen. Während des Heilprozesses tragen die vorhandene Feuchtigkeit sowie die in der Ringerlösung enthaltenen Elektrolyte wie Natrium-, Kalium- und Calciumionen zur Zellproliferation bei.

Die pH-Abhängigkeit des Wasserabsorptionsvermögens wird in der *pharmazeutischen Industrie* für „intelligente“ drug-delivery-Systeme benutzt. So lassen sich Träger-

¹¹⁰ Shimomura & Namba, 1994, S.121

¹¹¹ Cutinova® der Firma Beiersdorf oder Tenderwet® der Firma Hartmann

systeme konstruieren, die die Wirkstoffe in dosierter Form nur an einem bestimmten Zielort im Körper freigeben. Für säureempfindliche Medikamente ist es sinnvoll, dass das Gel bei niedrigem pH-Wert z.B. im Magen kontrahiert und erst im schwach basischen Milieu des Darmbereichs wieder aufquillt und dadurch die Abgabe der Medikamente ermöglicht.

Eines der neuesten Anwendungsgebiete für diese Polymere ist der *Brandschutz*. Bei der Ausbreitung eines Brandes werden Gebäude mit den angefeuchteten superabsorbierenden Polymeren besprüht, was ein Übergreifen der Flammen verhindern soll. Selbst die Produktion von künstlichem Schnee innerhalb eines Gebäudes zur Herstellung eines 120m langen Skihangs wurde mit Hilfe von superabsorbierenden Polymeren in Japan 1991 möglich.

Viele weitere potentielle Anwendungen befinden sich noch in der Entwicklungsphase (Bestrebungen, Schlammlawinen mit superabsorbierenden Polymeren zu verdicken oder künstliche Muskeln, die vergleichbare Kräfte wie die Skelettmuskulatur entwickeln können, durch kontrollierte Einflussnahme auf Volumenveränderung herzustellen. Der enorme Anstieg der Weltproduktion von superabsorbierenden Polymeren von 8000 Tonnen auf 1157000 Tonnen von 1983 bis 1999 belegt die zunehmende Bedeutung dieser Stoffe. Sie zählen zu den Produkten mit den höchsten Wachstumsraten in der chemischen Industrie.¹¹²

4.2 Didaktische Aufbereitung

Aufgrund der oben beschriebenen zunehmenden Bedeutung von superabsorbierenden Polymeren in Wissenschaft und Industrie und davon ausgehend auch im Alltag der Schülerinnen und Schüler stellen die SAP ein überaus interessantes Objekt für den Chemieunterricht dar. Es war daher ein vorrangiges Ziel dieser Arbeit, das Gebiet für einen sinnstiftenden Kontext im Rahmen der Konzeption „Chemie im Kontext“ zu erschließen und eine Reihe von Experimenten zu entwickeln, mit denen es gelingen

¹¹² Redlin & Lück, 2000, S. 42

soll, Basiskonzepte wie Struktur-Eigenschafts- oder Gleichgewichts-Beziehungen auf einfachem Wege anschaulich werden zu lassen.

4.2.1 Tabellarischer Überblick mit didaktischem Kommentar

Die folgende Tabelle ermöglicht einen Überblick über den geplanten Lernzyklus. Aus ihm lassen sich folgende Grobziele ableiten:

Die Schülerinnen und Schüler

- kennen die molekulare Struktur von superabsorbierenden Polymeren und können die Vorgänge beim Quellen erklären.
- kennen den Mechanismus der radikalischen Polymerisation.
- kennen Anwendungsgebiete von Superabsorbentien und ihre Funktionsweise in diversen Produkten.

In diesem Lernzyklus werden das Konzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehung, das Gleichgewichtskonzept, das Stoff-Teilchen-Konzept sowie das Donator-Akzeptor-Konzept angesteuert.

| | kontextlicher Inhalt | chemischer Inhalt |
|---|---|---|
| Begegnungsphase | <p>→ Text („Lebensretter aus stinkenden Windeln“) wird ausgegeben (bzw. im Internet recherchiert) und gelesen.</p> <p>→ Die Gruppe bekommt Windeln ausgehändigt, diese können zerschnitten und das Polymer in der Windel kann identifiziert werden.</p> <p>→ SAP-Pulver wird zusätzlich ausgegeben, die Schülerinnen und Schüler machen selbstständig Erfahrungen mit dem Quellvermögen</p> | Brandschutz, Absorptionvermögen, Gel |
| Neugierphase | <p><u>Strukturierung und Sammlung von Leitfragen</u></p> <p>Möglich wären folgende Leitfragenkomplexe (wenn man sich am ersten Punkt der Begegnungsphase orientiert):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wodurch haben die Windeln den Brand überstanden? Welche Eigenschaften haben die in ihnen enthaltenen SAP? • Wie funktioniert ein SAP? Was ist das für ein Stoff? Was ist der Unterschied zu herkömmlichen Aufnahmemedien? Absorbieren sie jede Flüssigkeit? (gleich gut?) • Wo gibt es überall diese Substanzen? Zu welchem Zweck? | |
| Erarbeitungs- und Auswertungsphase | <p><u>Gewinnung der SAP aus Windeln / Binden</u></p> <p>„Lernen an Stationen“ zur qualitativen Untersuchung von SAP</p> <p>→ Vergleich der Absorptionsfähigkeit mit anderen Materialien</p> <p>→ Absorption unter Druck-/Temperaturänderung</p> <p>→ Absorptionsvermögen mit unterschiedlichen Salzlösungen (Konzentration und Farbe)</p> <p>→ Absorptionsvermögen bei unterschiedlichen pH-Werten</p> <p><u>Ergebnissicherung des Stationenlernens</u></p> <p><u>Industrielle Anwendungen von SAP</u></p> <p>(Rollenspiel)</p> <p>→ ökon. Entwicklung, Ökobilanzen</p> <p>→ Anwendungsgebiete und jeweilige Funktionsweise</p> <p>(arbeitsteilige GA mit Internet- und Literaturrecherche)</p> | <p>Absorption, Kapillarkräfte</p> <p>Gleichgewichtsprozesse, Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, Osmose, Wasserstoffbrücken- und Ionenbindung, Solvation</p> <p>Säure-Base-Reaktionen</p> <p>Modell der chemischen Struktur der SAP</p> <p>Anwendung von chemischen Inhalten in Industrie und Wirtschaft</p> |
| Vertiefungs- und Vernetzungsphase | <p><u>Weiterführende Untersuchungen in arbeitsteiliger Gruppenarbeit:</u></p> <p>→ Verhalten eines gequollenen SAP im elektrischen Feld</p> <p>→ Synthese von Natriumpolyacrylat und Variation der Parameter</p> <p><u>Vernetzung mit anderen Kontexten:</u></p> <p>→ Kunststoffe im Auto, in der Kleidung, biologisch abbaubare Polymere, leitfähige Polymere,</p> | <p>Elektrochemie, Elektrolyse, Säure-Base-Reaktionen</p> <p>radikalische Polymerisation, Parameter von Polyreaktionen</p> |

4.2.2 Erläuterungen zu den einzelnen Phasen

Begegnungs- und Neugierphase

Zum Einstieg in den Kontext habe ich einen Zeitungsartikel einer amerikanischen Zeitung aus dem Internet gewählt. Hier wird eine Geschichte über einen Feuerwehrmann erzählt, der bei einem Brand eine unversehrte feuchte Windel entdeckt, woraufhin er mit einem Chemiker ein Brandschutzgel entwickelt, das er in seiner Garage testet. Dieser Kontext ist authentisch, passt in die Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler und ist tragfähig genug, nicht nur als Aufhänger für die Chemie der SAP zu dienen. Er zeigt gleich zwei Anwendungsmöglichkeiten der Polymere und bietet ausreichendes Potential für die Neugier und Phantasie der Schüler und Schülerinnen.

Nachdem die Schülerinnen und Schüler den Zeitungsartikel (s. Materialien) über die Entstehungsgeschichte des Feuer hemmenden Gels gelesen haben, werden sich Fragen zu Windeln, deren Wasseraufnahmekapazität und den in ihnen befindlichen superabsorbierenden Polymeren ergeben. Die Schülerinnen und Schüler können selbst an dargebotenen Windeln die Wasseraufnahme testen, die Windeln aufschneiden und untersuchen, welcher Teil für die Nicht-Brennbarkeit verantwortlich ist. Um die weitere Begegnung mit diesem Stoff zu erleichtern, kann man kommerziell erhältliches Natriumpolyacrylat ausgeben. Der Stoff ist ungefährlich, was es ermöglicht, die Schülerinnen und Schüler selbstständig ihre Erfahrungen mit der Substanz machen zu lassen, diese quellen zu lassen, anzufassen und sich selbst von der Gelartigkeit zu überzeugen, sie anzuzünden oder Gegenstände damit zu einzuschmieren und dann zu versuchen, diese zu entflammen. (Es sollte darauf geachtet werden, dass die Schülerinnen und Schüler den Quellprozess bewusst erleben und sich nicht ausschließlich mit der Feuer hemmenden Wirkung auseinandersetzen). Diese praktische Tätigkeit sollte jedoch nicht den Charakter eines geplanten Experiments haben, sondern hauptsächlich der Begegnung (auch auf haptischer Ebene) mit dem Stoff dienen.

Die dem Zeitungsartikel entnommenen Informationen lassen sich direkt an der Substanz erleben. Der Zeitungsartikel ist eine *Story*, die zwar nicht dem direkten Lebensumfeld

der Schülerinnen und Schüler entspringt, jedoch absolut lebensnah und – aufgrund der Erfahrungen, die die Klasse mit der Materie macht – auch authentisch ist.

Anschließend an diese Begegnungsphase und aus der direkten Erfahrung mit dem Stoff können sich in der Neugierphase etwa folgende Leitfragen ergeben:

Was ist dieses superabsorbierende Polymer für eine Substanz?

Im ersten Moment sehen die Schülerinnen und Schüler nur das weiße Pulver, doch der Quellprozess macht auf eindrucksvolle Art und Weise deutlich, dass sie hier eine außergewöhnliche Substanz vor sich haben. Dem Zeitungsartikel kann man entnehmen, dass es sich um ein Polymer handelt, doch kann es kein gewöhnlicher Kunststoff sein, welchen die Schülerinnen und Schüler aus dem Alltag von Verpackungen, Gehäusen oder sonstigen Gebrauchsartikeln kennen.

Wie funktioniert der Quellvorgang?

Mit dieser Frage sind mehrere Themenkomplexe verknüpft, nämlich die der Prozesse beim Quellen und dessen Ursachen, aber auch der Speicherung und der Wiederabgabe von wässrigen Lösungen

Wo findet man diese Substanzen noch?

Die Schülerinnen und Schüler haben im Zeitungsartikel bereits zwei außerordentlich unterschiedliche Anwendungsgebiete der SAP kennen gelernt, Brandbekämpfung und Windeln. Dies lässt den Schluss zu, dass es noch weitere Einsatzgebiete für diese Art von Polymeren geben könnte.

Die von den Schülern und Schülerinnen aufgeworfenen Fragen sollen an der Tafel, mittels OH-Projektor oder Moderationstafel gesammelt und zu übergeordneten Fragestellungen geclustert werden. In geübten Gruppen könnte sich hier eine Diskussion über geeignete Experimente anschließen, um auch das selbstständige Planen von Versuchsanordnungen zu üben. Bei weniger geübten Klassen kann der Rahmen vorgegeben werden.

Erarbeitungsphase

Für die anschließende Erarbeitungsphase sind zwei Teile geplant. Zunächst wurde ein Lernzirkel entwickelt, in welchem die Schülerinnen und Schüler sich den Aufbau und Eigenschaften der superabsorbierenden Polymere erarbeiten. Die Stationen orientieren sich inhaltlich an den in der Neugierphase aufgestellten Leitfragen. Hierbei können die vorbereiteten Stationen durch solche inhaltlich ergänzt werden, die auf den Vorschlägen der Schülerinnen und Schüler beruhen. So ist gewährleistet, dass sich die Schüler und Schülerinnen im Unterricht ernst genommen fühlen. Die Bearbeitung der Pflichtstationen soll es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, sowohl den molekularen Aufbau als auch den Mechanismus der Wasseraufnahme zu klären (Kernexperimente). Insbesondere das Wissen um die chemische Struktur des Polymers ist eine wichtige Voraussetzung für die Synthese im zweiten Teil bzw. die der Synthese vorgelagerten Erarbeitung des Mechanismus der Polymerisation. Bei der Entwicklung der Stationen ist Wert auf praktisches Arbeiten gelegt worden, jedoch immer kombiniert mit einer textbezogenen Erarbeitung der Hintergründe und einer Ergebnissicherung. Die Materialien inklusive Versuchsbeschreibungen befinden sich im komplett im Anhang.

Um einen effektiven Verlauf des Stationenlernens zu gewährleisten, sollte dieses möglichst in Doppelstunden durchgeführt werden, in Abhängigkeit von der Gruppengröße in etwa zwei bis drei Doppelstunden. Die Reihenfolge der Bearbeitung ist beliebig. Bei der Erarbeitung der theoretischen Hintergründe und der Ergebnissicherung ist es mitunter für die Schülerinnen und Schüler notwendig, in Schulbüchern oder anderer Literatur nachzuschlagen. Immer ist bei der Gestaltung der einzelnen Materialien der Selbsttätigkeit Vorrang einzuräumen. Es sollten also keine vorgefertigten Antworten, sondern Hilfestellungen geboten werden. Zur Binnendifferenzierung können fakultative Stationen z.B. über den Einfluss von farbigen Salzlösungen (s. u.) eingerichtet werden.

Den Abschluss des Stationenlernens bildet ein Arbeitsbogen zur Ergebnissicherung. Hier sollen die Beobachtungen und Erkenntnisse aus den Stationen zu einem umfassenden Erklärungsmodell des Quellens zusammengefasst werden. Dieser wird in

der folgenden Stunde als Grundlage für die Auswertung genutzt. Den Schülerinnen und Schülern wird eine Strukturierungshilfe geboten, wie sie ihre Versuchsergebnisse in einen sinnvollen Zusammenhang bringen können. Hierbei ist auch eine Unterstützung durch Molekülmodelle sinnvoll. Die Schüler und Schülerinnen können jeweils eine Einheit nachbauen und gemeinsam zu einem Makromolekül zusammensetzen. Dies festigt noch mal die vorher erarbeiteten Inhalte und bereitet ggf. auf den „Syntheseworkshop“ vor. Eine geeignete (Haus-)Aufgabe an dieser Stelle wäre eine Art Rollenwechsel für die Schüler und Schülerinnen, nämlich sich in die Rolle eines Forschers hinein zu versetzen, der die SAP gerade als neue Substanzklasse entdeckt hat und nun einen Bericht für eine Fachzeitschrift verfassen soll.

Nach der gemeinsamen Auswertung, bei der die strukturellen Hintergründe der superabsorbierenden Substanzen für alle geklärt sind, kann sich (falls dies nicht vorher bereits in einer Station als zusätzlicher Aspekt bearbeitet wurde) die Verwendung und wirtschaftliche Bedeutung von superabsorbierenden Polymeren anschließen. Die Schüler und Schülerinnen erarbeiten sich in arbeitsteiliger Gruppenarbeit die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten (auch hier sind passende Experimente möglich) und tragen sich dann gegenseitig ihre Ergebnisse vor. Auch hier lässt sich eine Aufgabe (sogar inhaltlich passend zu der vorherigen) formulieren, nämlich dass die Schüler und Schülerinnen einem potentiellen Investor die zukunftssträchtigen Anwendungsmöglichkeiten dieser Substanzklasse verdeutlichen.

4.2.3 Beschreibung der einzelnen Stationen:

Station 1: Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe

Hier werden verschiedene Stoffe angeboten, die Wasser aufnehmen: Schwamm, Filterpapier, Kosmetiktücher, SAP u. ä. Sie entstammen der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler. Von jeweils empfohlenen 0,2 g dieser Stoffe wird das Absorptionsvermögen der Stoffe mittels Waage ermittelt und verglichen. Anstatt des SAP-Pulvers können hier auch vorgequollene Spielzeugtiere („growing beasts“) mit ungequollenen verglichen werden. Dies hätte einen zusätzlichen motivierenden Aspekt.

Station 2: Osmose

Die enorme Quellung der partiell neutralisierten Polyacrylsäure lässt sich auf das Phänomen der Osmose zurückführen, welches den Schülerinnen und Schülern aus der Biologie bekannt sein sollte. Im Inneren eines von destilliertem Wasser umgebenen SAP-Partikels herrscht eine sehr viel größere Konzentration an Natriumionen als im umgebenden Medium. Da die Natriumionen durch Coulombkräfte in der Polymermatrix gehalten werden, kann der Konzentrationsunterschied nur durch Diffusion des Wassers in das Polymer ausgeglichen werden. Es zeigen sich also sowohl Parallelen als auch Unterschiede zur Osmose in lebenden Systemen, denn es existiert keine semipermeable Membran. Um den Schülerinnen und Schülern das Übertragen dieser Kenntnisse auf die chemischen Sachverhalte zu erleichtern, ist hier ein Versuch zur Osmose eingeplant.

Es gibt eine Reihe von Unterrichtsversuchen zur Osmose in der biologiedidaktischen Literatur, jedoch wird dort entweder direkt Bezug auf biologische Sachverhalte genommen oder die Experimente sind sehr abstrakt und mit einem großen Aufwand verbunden. Der Einsatz von Dialyseschläuchen als semipermeable Membran erscheint fragwürdig, weil den Lernenden ein Naturphänomen anhand eines Gerätes präsentiert würde, welches speziell zur Ausnutzung dieses Effektes entwickelt und hergestellt wurde. Ein derartiges Vorgehen entspräche einer bei Anton beschriebenen Kontextfalle.¹¹³ Ein praktikabler, lebensnaher Versuch findet sich in einem Buch von Heldmaier aus dem Jahre 1955.¹¹⁴ Ein mit Hilfe von Salzsäure von der Kalkschale befreites Hühnerei fungiert dort als mit einer semipermeablen Schicht umgebener Körper. Da die in der Literatur beschriebenen Effekte (starkes Aufquellen bzw. deutlich sichtbare Dellen in der Oberfläche) erst nach langer Zeit auftreten, muss die Massenänderung mit einer Waage nachgewiesen werden. Dann liefert der Versuch jedoch gut reproduzierbare Ergebnisse. Bei einem Ei von ca. 60g Masse kann schon nach zehnminütigem Einlegen in destilliertem Wasser eine Gewichtszunahme von ca. 2g beobachtet werden.

Das Zersetzen der Eierschale kann von der Lehrperson vor dem Unterricht erledigt werden. Hierzu wird das Ei für 10-15 min in Salzsäure (w = 10%) eingelegt. Es

¹¹³ Anton, 1998, S. 111

¹¹⁴ Heldmaier, 1995, S. 14

empfiehlt sich, die Säure zusätzlich mit einem Magnetrührer zu durchmischen. Das erhaltene Ei ist außerordentlich stabil und kann aufgrund der Reversibilität des Prozesses von der ganzen Klasse genutzt werden. Ergänzt werden sollte die Station mit einem Biologiebuch, indem das Phänomen Osmose hinreichend erklärt ist.

Station 3: Quellverhalten in Abhängigkeit vom Salzgehalt

Mit steigendem Salzgehalt der das superabsorbierende Polymer umgebenden Lösung sinkt dessen Quellvermögen. Der Konzentrationsgradient zwischen dem Inneren eines SAP-Partikels und der Umgebung ist vermindert und somit auch der osmotische Druck. Diese Relation lässt sich mit den beschriebenen Experimenten einfach nachweisen. Für diese halbquantitativen Versuche bieten sich möglichst schlanke Glasrohre an, da dann die Höhenunterschiede der Gelsäule besonders groß sind. Da das Abwiegen derart geringer Mengen an Superabsorber mit einem relativ großen Fehler behaftet sein kann, wird die Schrumpfung im Verhältnis zur Ausgangsgröße der Säule gemessen. Während ein Versetzen mit NaCl-Lösung der Konzentration $c = 0,1 \text{ mol/L}$ zu einer sehr geringen Volumenkontraktion führt, schrumpft das Gel bei NaCl-Lösung der Konzentration $c = 0,5 \text{ mol/L}$ auf ca. 50%, bei NaCl-Lösung der Konzentration $c = 1,0 \text{ mol/L}$ auf ca. 30% seiner ursprünglichen Größe. Die qualitativen und semiquantitativen Quellversuche sind in verschiedenen Variationen auch in der Literatur beschrieben.¹¹⁵

Station 4: Quellverhalten in Abhängigkeit vom pH-Wert

Hier ist ein ähnlicher Aufbau wie bei der Station 3 zu verwenden. Dies hilft den Lernenden, sich auf den Inhalt zu konzentrieren und nicht erneut einen Versuchsaufbau durchdenken zu müssen. Die chemischen Hintergründe sind auch im Hinblick auf die Verwendung der SAP als Arzneimittelüberzug relevant. Station 3 und 4 können auch bei Platzmangel an einer Station zusammengefasst werden.

¹¹⁵ Köhler-Krützfeldt, 2001, S. 165

(Station 5): Produkte mit superabsorbierenden Polymeren

Je nach zeitlicher Gestaltung können diese Inhalte durch eine Station innerhalb des Lernzirkels erarbeitet werden oder erst nach der Auswertung in einer erneuten Gruppenarbeitsphase.

Das Internet bietet sich aufgrund seiner Aktualität und der Präsenz unzähliger Unternehmen für eine Produktrecherche an. Superabsorbierende Polymere werden in einer Vielzahl von Anwendungen genutzt. Sollte kein Computer mit Internetanschluss vorhanden sein, so ist es durchaus möglich, mit einem Notebook die entsprechenden Seiten im Voraus zu laden¹¹⁶ und die Schülerinnen und Schüler diese offline aus dem Cache des Rechners betrachten zu lassen.

Zudem bieten viele Firmen auch kostenloses Informationsmaterial an, welches an dieser Station ausliegen kann¹¹⁷. Ergänzt wird die Station mit realen Produkten wie Windeln, Binden, einer Vase mit farbigen Gelstücken zur Aufbewahrung von Blumen, mit Kühlmatten für Lebensmittel oder mit aus Superabsorber bestehendem Spielzeug („growing beasts“). Besonders geeignet sind auch reale Objekte aus dem medizinischen Bereich wie Wundpflaster, Wundauflagen oder Arzneimittel mit Überzügen aus superabsorbierenden Polymeren¹¹⁸.

Die Schülerinnen und Schüler sollen erarbeiten, welche Eigenschaften des Superabsorbers im jeweiligen Produkt zum Tragen kommen. Die enorme Wasseraufnahmekapazität (in Windeln), die Fähigkeit, das Wasser längere Zeit zu speichern (im Gartenbau) oder die gelartige Konsistenz des gequollenen Produktes (in der Brandbekämpfung) sind unterschiedliche Aspekte mit jeweils kommerzieller Relevanz. Diese Station kann bei Zeitmangel auch entfallen und die Inhalte lassen sich nach der Auswertung in einer separaten Stunde in Form von arbeitsteiliger Gruppenarbeit bearbeiten. Hier könnten die Schülerinnen und Schüler „ihre“ Produkte

¹¹⁶ z.B. mit Hilfe des Programms wepsnake

¹¹⁷ Die Firma Stockhausen wirbt beispielsweise für ihr Brandschutzmittel *FIRESORB*[®] durch eine kostenlose Informationsmappe mit Multimedia-CD.

¹¹⁸ Aspirin und Aspirin protect[®]

mit Eigenschaften und Verwendungszweck in Form eines Rollenspiels als Chemiker oder Chemikerin vorstellen.

Mögliche Vertiefungen innerhalb der Stationenarbeit

Die Kenntnisse der Schülerinnen und Schüler über die chemische Struktur der SAP können an verschiedenen Stellen vertieft werden. Eine Möglichkeit besteht, wie schon oben erwähnt, in der Einrichtung von fakultativen Stationen, die leistungsstärkere oder schneller Lernende bearbeiten können. Der folgend beschriebene Versuch eignet sich insofern hierfür, als dass er sich thematisch genau in den Bereich eingliedert, aber keine Voraussetzung für die anderen Kenntnisse darstellt. Er wurde von mir entwickelt, um die Ladungsverhältnisse innerhalb des Polymers durch einfache Mittel sichtbar zu machen. Das Experiment verweist zudem auf bereits vorher erarbeitete Kenntnisse aus dem Bereich der Bindungslehre und verknüpft diese sinnvoll im Sinne von „Chemie im Kontext“ mit neuen Inhalten.

Einfluss von farbigen Salzlösungen auf partiell neutralisiertes Natriumpolyacrylat

Versetzt man ein gequollenes SAP mit einer Salzlösung, so kommt es – wie oben beschrieben – zu einem Austausch der Kationen. Die Anionen können aufgrund ihrer kovalenten Bindung in der Polymermatrix nicht ausgetauscht werden. Lässt man nun eine farbige Salzlösung durch ein gequollenes SAP laufen, so kommt es neben der Kontraktion des Polymers zu einer Anfärbung des Gels, welche in Abhängigkeit von dem jeweils zugegebenen farbigen Bestandteil des Salzes auswaschbar ist oder nicht. So wird bei einer wässrigen Kupfersulfatlösung die blaue Färbung durch die $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ -Komplexionen hervorgerufen. Diese können im Polymer durch ihre positive Ladung von den negativ geladenen Carboxylatgruppen gebunden werden und aus diesem Grunde nicht mit destilliertem Wasser herausgewaschen werden. Permanganationen hingegen färben das Polymer violett an, diese Färbung ist aber auch wieder herauswaschbar, da die farbgebenden Anionen nicht in der Polymermatrix gebunden werden können. Beim Herauswaschen nimmt auch das Volumen wieder zu. Die

beschriebenen Effekte treten bei anderen farbigen Salzlösungen wie $K_3[Fe(CN)_6]$ oder $Co(H_2O)_6Cl_2$ ebenfalls auf. Die genaue Versuchsbeschreibung findet man bei Köhler-Krützfeldt¹¹⁹ und im Anhang.



Eine

weitere

Stationenvariante bietet sich ebenfalls bei den Quellungsvorgängen unter Salzeinfluss an. Zur Demonstration der Reversibilität kann das durch Salzzufuhr geschrumpfte Gel mit einer EDTA-Lösung ($w = 0,1\%$) oder Zeolith-Suspension behandelt werden. Es kommt dann zu einer erneuten Ausdehnung des Gelvolumens. Auch könnten bei zusätzlichen fakultativen Stationen die quantitativen Aspekte stärker betont werden. Außerdem können bei leistungsstarken Schülergruppen auch Versuche mit anderen Lösungsmitteln als Wasser wie z.B. Methanol, Ethanol, Aceton usw. durchgeführt werden.

Um zu gewährleisten, dass die Ergebnisse der einzelnen Stationen im Zusammenhang gesehen werden, bekommen die Schüler und Schülerinnen einen Arbeitsbogen, auf dem Fragen zu den fachlichen Inhalten gestellt werden. Wenn die Lerngruppe alle Stationen vorschriftsmäßig durchlaufen hat, sollte es möglich sein, den konzipierten Arbeitsbogen zur Ergebnissicherung (siehe Anhang) zu bearbeiten und somit sowohl den Aufbau eines SAP als auch den Quellprozess desselben zu beschreiben. Die weiteren Fragen sind Transferaufgaben und dienen der Anwendung des Gelernten. Sollte die

¹¹⁹ Köhler-Krützfeldt, 2001a, S. 166

Beantwortung einzelner Teile nicht möglich sein, so werden diese in der anschließenden Phase aufgegriffen.

Ergebnissicherung der Stationenarbeit

Zuerst werden die Ergebnisse der Stationenarbeit gesammelt und verglichen. Ziel dieser Phase sollte die Beantwortung der Frage sein, wie die chemische Struktur der SAP aussieht. Als Hilfestellung dazu bietet sich ein Arbeitsbogen an, der einen Modellausschnitt der chemischen Struktur präsentiert. Hieran können die Lernenden ihre Kenntnisse selbstständig überprüfen und ergänzen (siehe Anhang).

Zunächst wird das Makromolekül textbezogen beschrieben, die wichtigen Bestandteile der Struktur sollen dann in der Lewis-Strukturformel markiert werden. Die Schülerinnen und Schüler aktivieren damit auch ihr Wissen über funktionelle Gruppen, identifizieren die vorhandenen Funktionen als Carboxyl- bzw. Carboxylatgruppen und vergegenwärtigen sich die Ionenkräfte, die die Natriumionen im Polymergerüst fixieren. Dieses Wissen ist von essentieller Bedeutung, wenn es darum geht, den Quellprozess zu beschreiben. Zur Vertiefung sollte hier ein Molekülmodellausschnitt von den Lernenden aufgebaut werden. Das Erstellen eines Molekülmodells dient dem Verständnis der chemischen Struktur, diesmal zusätzlich auf haptisch-motorische Art und Weise. Zudem erhalten die Schülerinnen und Schüler einen Eindruck von der Dreidimensionalität des Netzwerks und den tetraedrischen Bindungsverhältnissen in organischen Kohlenstoffgerüsten. Besonders geeignet sind Kugel-Stab-Modelle mit flexiblen Plastikstäbchen, die die Bindungen darstellen. Ein derartiges Modell ist derart flexibel, dass es sogar möglich ist, den Quellprozess zu verdeutlichen. Besonders reizvoll ist es, die einzelnen Modellausschnitte der Schülerinnen und Schüler zu einem großen Makromolekül-Modell zusammensetzen zu lassen. In Anbetracht der enormen Größe der Moleküle dürfte die Grenze hier durch die Menge an vorhandenen Bauteilen gesetzt werden.

4.2.4 Vertiefung und Vernetzung

Je nach Zeit und Leistungsfähigkeit der Gruppe kann der oben skizzierte „Faden“ als Chemiker und Chemikerinnen einzelner Chemiefirmen für die Schüler und

Schülerinnen weitergesponnen werden. Das Rollenspiel kann dahingehend fortgesetzt werden, dass in einer Art „Workshop“ superabsorbierende Polymere selbst hergestellt werden. Im Rahmen dieser Dissertation sind Experimente entwickelt wurden, die zeigen, dass es mit schulischen Mitteln durchaus möglich ist, ein derartiges Polymer zu synthetisieren und weiterführend zu untersuchen.

4.2.4.1 Synthese von superabsorbierenden Polymeren

Aufgrund der Kenntnis des prinzipiellen Aufbaus von Polymeren und der speziellen SAP-Struktur sollte es den Schülern und Schülerinnen nicht schwer fallen, die Ausgangsstoffe für die Synthese zu benennen. Die Notwendigkeit eines Starters muss ihnen aber vorgegeben werden. In Abhängigkeit der Vorkenntnisse und des Leistungsvermögens der Gruppe kann hier eine Diskussion über die zu erwartenden Produkte und ihrer Eigenschaften geführt werden. Der Reaktionsmechanismus kann dann mit Hilfe eines Arbeitsblattes von den Lernenden selbsttätig erschlossen werden (siehe Anhang). Dieser Reaktionsmechanismus, in diesem Fall der radikalischen Polymerisation, kann exemplarisch für eine der im Unterricht zu behandelnden Polyreaktionen stehen. Die radikalische Polymerisation eignet sich besonders, da sie die technisch häufigste Polymerisationsart darstellt. Zudem ist die radikalische Polymerisation relativ unempfindlich gegenüber Verunreinigungen, was sich im Schulgebrauch als vorteilhaft erweist.

In der Literatur konnte man bislang nur wenige Syntheseanleitungen für superabsorbierende Polymere finden (Buchholz, Garner), was auch im Patentrecht begründet ist. Prinzipiell erfolgt die Synthese durch eine radikalische Polymerisation von Acrylsäure unter Einsatz geringer Mengen eines quervernetzenden Agens (Crosslinker), so dass sich ein dreidimensionales Polymernetzwerk ausbildet, dessen Carboxylgruppen in einem zweiten Schritt mit Hilfe von NaOH partiell neutralisiert werden.

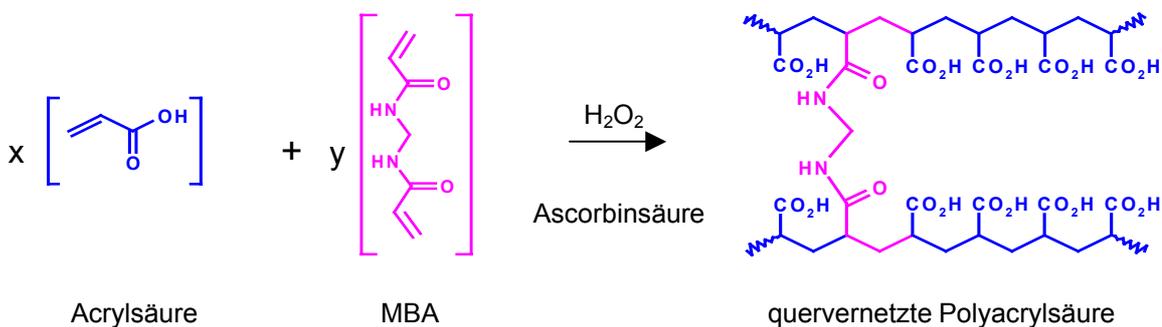
Buchholz¹²⁰ beschreibt ein Rezept für eine größere, relativ aufwendige SAP-Synthese unter Verwendung von Ethylendiacylat als Crosslinker, die in einem 500mL-Polymerisationsreaktor durchgeführt wird. Dabei werden die für die Initiation der

¹²⁰ Buchholz, 1996, S. 513

radikalischen Polymerisation notwendigen freien Radikale durch Reaktion von Persulfat mit dem Reduktionsmittel Natriumthiosulfat gewonnen. Diese Versuchsdurchführung ist jedoch aufgrund des speziellen und aufwendigen Reaktionsgefäßes und wegen der Sauerstoffempfindlichkeit der Polymerisationsreaktion, die den Einsatz von Schutzgas (Stickstoff) erforderlich macht, für schulische Zwecke nicht geeignet.

Bei Garner¹²¹ werden zwei in kleinerem Maßstab durchführbare Synthesemöglichkeiten beschrieben, die sich im Einsatz unterschiedlicher Initiatoren für die radikalische Polymerisation unterscheiden. Bei Verwendung der Azo-Verbindung VA-044 als Initiator ist eine Inkubation des Reaktionsansatzes über Nacht bei 50°C nötig, was die Synthese für die Schule recht aufwendig erscheinen lässt. Als weiterer möglicher Initiator dient das Redoxpaar Wasserstoffperoxid und Ascorbinsäure, wobei die angegebene Versuchsvorschrift hier aufgrund der Empfindlichkeit dieses Systems gegenüber der Anwesenheit von Sauerstoff wiederum die Verwendung von Schutzgas (Stickstoff oder Argon) vorsieht, was die Durchführung für Schulzwecke ebenfalls schwierig macht.

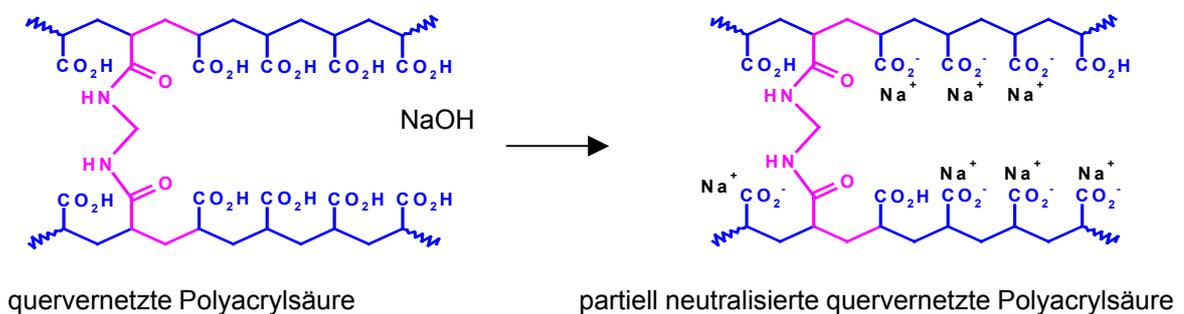
In Abwandlung dieses Syntheserezepts soll im Folgenden eine Möglichkeit beschrieben werden, auf der Basis des Monomers Acrylsäure, des Crosslinkers N,N'-Methylenbisacrylamid (MBA) und des Initiators Wasserstoffperoxid/Ascorbinsäure in relativ kurzer Zeit ohne Einsatz von Schutzgas eine auch von Schülern und Schülerinnen ausführbare SAP-Synthese durchzuführen.



¹²¹ Garner, 1997, S. 97

Der dafür eingesetzte Crosslinker MBA ist im Chemikalienhandel als wässrige Lösung (w = 2%) leicht und preiswert erhältlich. Die Verwendung des Initiators Wasserstoffperoxid/Ascorbinsäure zum Starten der radikalischen Polymerisationsreaktion hat den Vorteil, dass bekannte Chemikalien verwendet werden, die auch in jedem (Schul-)Labor vorhanden sein müssten und auch den Lernenden als Substanz vertraut sind. Beim Umgang mit allen verwendeten Substanzen ist die Einhaltung normaler Schutzmaßnahmen (Schutzbrille, ggf. Handschuhe und Abzug) ausreichend.

Während bei vielen industriell hergestellten SAPs die Acrylsäuremonomere bereits vor der Polymerisation partiell neutralisiert werden, erfolgt bei den entwickelten Rezepten die Neutralisation erst im Anschluss an die Polymerisation, da dadurch ein für die Schülerinnen und Schüler leichter handhabbares Polymer entsteht. Außerdem steht im Unterrichtsverlauf in der Regel das Prinzip der Polymerisation im Vordergrund, so dass dieser Prozess zuerst stattfinden sollte.



Die Initiierung der radikalischen Polymerisation erfolgt durch freie Radikale, welche mit Hilfe von Radikalinitiatorverbindungen erzeugt werden. In der entwickelten Versuchsanleitung findet eine Redoxinitiierung mit Hilfe des Redoxpaares Wasserstoffperoxid/Ascorbinsäure statt, wobei während der Reaktion zwischen dem Oxidationsmittel Wasserstoffperoxid und dem Reduktionsmittel Ascorbinsäure freie Radikale erzeugt werden. Die thermische Aktivierungsenergie der Polymerisation ist dabei so gering, dass die Reaktion auch schon bei Raumtemperatur abläuft, was eine Verwendung von Brennern überflüssig macht.

Die gesamte Polymerisationsreaktion ist empfindlich gegenüber der Anwesenheit von Sauerstoff ($\cdot\text{OO}\cdot$), da dieser aufgrund seines Diradikalcharakters mit anfänglich gebildeten Monomer- und Polymerradikalen ($\text{R}\cdot$) reagieren kann, wodurch die weitaus weniger reaktiven Peroxylradikale ($\text{ROO}\cdot$) gebildet werden, so dass der Sauerstoff hier als Inhibitor wirkt. Aus diesem Grund findet die bei Garner¹²² beschriebene Polymerisation, bei der derselbe Initiator verwendet wird, auch nur unter Ausschluss von Sauerstoff in einer Schutzgasatmosphäre statt. Dies ist aber für den Einsatz in der Schule ein zu großer Aufwand. Daher wird bei den entwickelten Versuchsanleitungen zur SAP-Synthese eine höhere Konzentration von Monomer- und Initiatormolekülen verwendet, so dass trotz Anwesenheit von Sauerstoff auch ohne Schutzgas eine Polymerisation ablaufen kann. Eine höhere Konzentration von Initiatormolekülen sollte zwar die Entstehung kürzerer Polymerketten aufgrund des gleichzeitigen Wachstums vieler Ketten fördern, jedoch zeigen die Ergebnisse der Quellversuche, dass offenbar trotzdem ausreichend lange Ketten gebildet werden und bei den Produkten eine gute Quellfähigkeit erreicht wird.

Die SAP-Synthese ist hervorragend als Beispiel für die Herstellung von Kunststoffen nach Maß geeignet. Durch Variation der Synthesebedingungen kann nämlich der Zusammenhang zwischen Bau und Eigenschaften aufgrund des stark von den Synthesebedingungen abhängigen Quellvermögens der SAP veranschaulicht werden. Variiert man die Menge des eingesetzten Crosslinkers MBA, so erhält man ein Produkt, dessen Quellfähigkeit mit der Menge des eingesetzten MBA sinkt. In bestimmten Grenzen kann auch die Menge des eingesetzten Initiators variiert werden (vgl. Anleitung 1 und 3). Verwendet man zu wenig Initiator, wird jedoch die Reaktion nicht gestartet. Verwendet man zu viel, so erhält man nach der Polymerisation kein festes, sondern nur ein zähflüssiges Produkt, das nicht weiter aufgearbeitet werden kann.

Im Folgenden werden drei verschiedene Versuchsanleitungen beschrieben, die sich in der Menge des eingesetzten Crosslinkers MBA und des Radikalinitiators (Wasserstoffperoxid und Ascorbinsäure) unterscheiden. Die dazugehörigen Versuchsanleitungen sind im Anhang verzeichnet. Bei Verwendung der angegebenen

¹²² Garner, 1997, S. 95

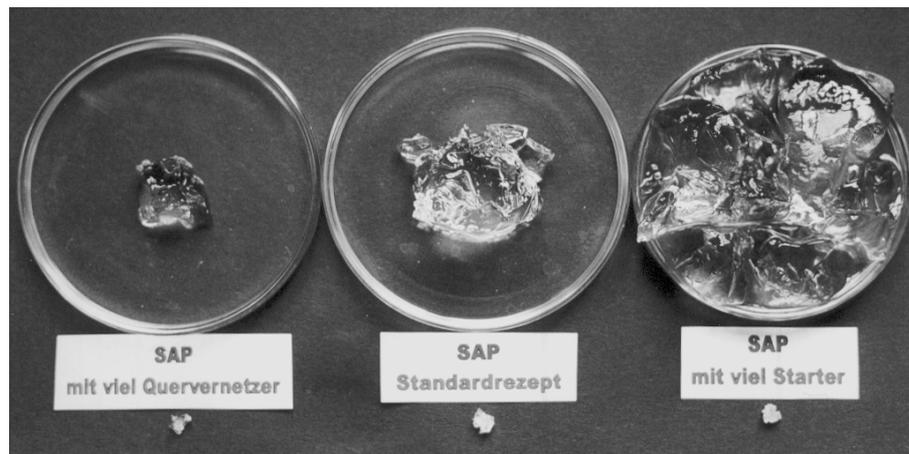
Stoffmengen ist die Menge der erhaltenen Produkte für eine anschließende Untersuchung der Eigenschaften der SAP völlig ausreichend.

Die Polymerisation sollte jeweils in einem 50mL-Becherglas stattfinden, da sich hieraus das z. T. recht klebrige Polymerisationsprodukt mit Hilfe eines Spatels am einfachsten wieder entfernen lässt. Für die Zugabe der verschiedenen Flüssigkeiten zum Reaktionsansatz sind Spritzen (1mL, 2mL und 5mL) sehr geeignet.

Das im zweiten Syntheseschritt verwendete Methanol ist zwar giftig, aber bei geeigneten Schutzmaßnahmen erlaubt. Die getesteten Ersatzstoffe (Ethanol, Aceton) sind wesentlich schlechter geeignet, da die Polymerstücke in diesen Lösungen so „klebrig“ werden, dass sie kaum noch voneinander separierbar sind. Während der Inkubation im Methanol beginnen die Gelstückchen langsam zu schrumpfen und werden immer härter; ggf. müssen die Polymerstückchen dabei je nach Konsistenz mit Hilfe der Pinzetten erneut voneinander bzw. von ihrer Unterlage gelöst werden. Das Quellvermögen der fertigen Polymerstücke kann anschließend sofort bestimmt werden (Quellvorgang über Nacht), man kann aber auch (nach vorheriger kurzzeitiger Trocknung im Trockenschrank (80°C, 10min)) zunächst aus dem Polymer durch Zermörsern ein Pulver gewinnen. Die Quellfähigkeit des fertigen Produkts beträgt ca. 800g Wasser pro g Polymer.

Bei der zweiten Anleitung handelt es sich um die Synthese eines *stark quervernetzten* Polymers. Alle weiteren Aufarbeitungsschritte sind identisch mit denen von Rezept 1. Die Quellfähigkeit des fertigen Produkts beträgt ca. 200g Wasser pro g Polymer. Man erhält nach der Wasserabsorption ein vergleichsweise festes Gel. Die besonders große Anzahl von Crosslinks im Polymer verhindert ein starkes Auseinanderweichen der Polymerketten beim Quellvorgang, so dass die Wasseraufnahmefähigkeit dieses Polymers relativ gering bleibt.

Beim Rezept 3 variiert man die Konzentration an *Initiatormolekülen*, alle weiteren Aufarbeitungsschritte sind identisch mit denen von Rezept 1. Die Quellfähigkeit des fertigen Produkts beträgt bis zu 1400g Wasser pro g Polymer. Man erhält nach der Wasserabsorption ein stark geleeartiges, instabiles Gel.



Aufgrund der von Anfang an hohen Konzentration an freien Radikalen beginnt die Synthese von Polymerketten hier an besonders vielen Stellen gleichzeitig, so dass diese im Durchschnitt kürzer sind und pro Kette auch weniger Crosslinks aufweisen. Das führt dazu, dass die Polymerketten weniger miteinander verknäuel sind und im Dispersionsmittel besser auseinanderdriften können, was ein höheres Quellvermögen zur Folge hat. Dieses Phänomen kann dadurch veranschaulicht werden, dass man aus Klebeband (= Crosslinks) und einer vorgegebenen Gesamtlänge an Bindfaden (= Polymerketten) zwei Polymermodelle bastelt, von denen das erste wenige aber längere Polymerketten und das zweite mehr aber kürzere Polymerketten bei jeweils gleicher Gesamtzahl von Crosslinks aufweist.

Die für die partielle Neutralisation eingesetzte Natronlauge ist so bemessen, dass es zu einer ca. 70%igen Neutralisation der Polyacrylsäure kommt. Bei einem geringeren Neutralisationsgrad führt der verringerte ionische Charakter des Polymernetzwerks zu einem kleineren osmotischen Gradienten zwischen Polymer und umgebender Lösung, so dass das Absorptionsvermögen für Wasser geringer ausfällt. Verwendet man für die Neutralisation einen Überschuss an NaOH (100%ige Neutralisation), so erhält man bei Quellen des fertigen Produkts in Wasser eine recht geringe Massenzunahme bei gleichzeitiger schleimiger Konsistenz des Polymers. Möglicherweise kommt es unter

diesen Bedingungen zu einer partiellen Hydrolyse der Amidbindungen des Crosslinkers MBA, so dass das Polymer beginnt, sich langsam im Wasser zu lösen.

Der Schrumpfvorgang in Methanol erklärt sich dadurch, dass Methanol im Verhältnis zu Wasser einen weniger polaren Charakter aufweist. Das führt dazu, dass die geladenen Polymerketten vor allem durch die Carboxylatgruppen und ihre Gegenionen (Na^+ -Ionen) aufgrund der Coulombkräfte eine größere Affinität zueinander haben als zum Methanol. Allgemein gilt, dass das Quellvermögen der SAP umso geringer ausfällt, je unpolarer das Dispersionsmittel ist.

Vorteile gegenüber anderen Polymerisationsreaktionen

Die radikalische Polymerisation von Acrylsäure bietet neben dem attraktiven Produkt des superabsorbierenden Polymers auch den Vorteil, exemplarisch als Beispiel für eine radikalische Kettenreaktion dienen zu können. Im Gegensatz zu den sonst in Schul- oder Fachbüchern zu findenden Radikalsynthesen von Polystyrol oder Acrylglas¹²³, die neben einem größeren Zeitbedarf auch die Erwärmung des Reaktionsansatzes voraussetzen, läuft die Synthese von (quervernetzter) Polyacrylsäure innerhalb weniger Minuten ab. Als Initiator für die Radikalreaktionen wird zudem oft das laut Gefahrstoffliste explosionsgefährliche und reizende Dibenzoylperoxid verwendet, wohingegen die hier für die Initiation verwendeten Stoffe Ascorbinsäure und Wasserstoffperoxid in diesen Konzentrationen ungefährlich sind. Auch das Monomer Acrylsäure stellt laut Gefahrstoffliste ein geringeres Gefahrenpotential dar als die für die Synthese von Polystyrol und Acrylglas zu verwendenden Monomere. Soll nur das Prinzip einer radikalischen Polymerisationsreaktion demonstriert werden, ohne dass eine weitere Aufarbeitung (partielle Neutralisation) gewünscht wird, so kann auch problemlos das MBA in der folgenden Synthesevorschrift weggelassen werden. Man erhält dann ein ebenso festes Polymerisationsprodukt, das auch durchaus weiterverarbeitet werden kann, jedoch löst sich das fertige Polymer aufgrund der fehlenden Quervernetzung beim Quellvorgang in Wasser allmählich auf.

¹²³ Huntemann et al., 2000, S. 28

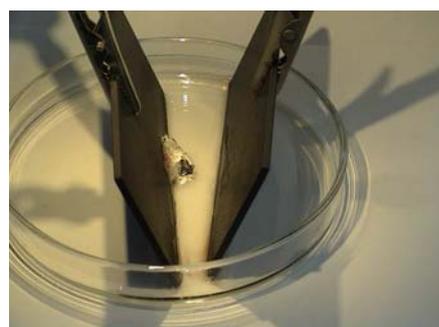
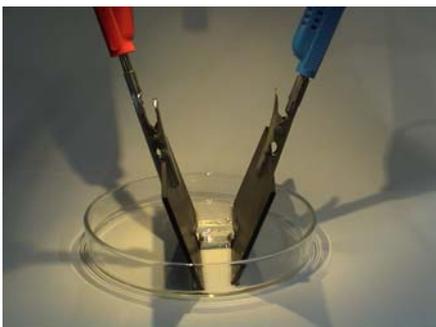
Bei der Besprechung des Prinzips der radikalischen Polymerisation kann ggf. auch auf kinetische Aspekte eingegangen werden. So ist auch hier eine Möglichkeit der vertikalen Vernetzung zu anderen Kontexten gegeben.

Der entwickelte Lernzyklus einschließlich der Experimente soll auch durch die Beobachtung des Unterrichts und den Einschätzungen der Lehrer und Lehrerinnen evaluiert werden. Im Sinne einer besseren Übersichtlichkeit werden diese beiden Blöcke an die Planung angeschlossen.

4.2.4.2 Verhalten im elektrischen Feld

Eine weitere Möglichkeit zur Vertiefung stellt das Verhalten von (selbstsynthetisierten) SAP im elektrischen Feld dar. Man kann die gequollenen Gelstückchen in einer mit wenig destilliertem Wasser gefüllten Petrischale zwischen zwei Elektroden „einspannen“. Die Elektrolyse wird bei 20-40V durchgeführt (Versuchsbeschreibung im Anhang).

Nach Anlegen der Spannung beginnt das Gel zu schrumpfen; dieser Prozess benötigt abhängig von der Höhe der Spannung, dem Polymertyp und der Masse des Gels etwa 5-30 Minuten. Es ist gut zu beobachten, dass die Kontraktion an der Anode beginnt („Nasenbildung“) und das Gel an dieser Elektrode haften bleibt. Masse und Volumen des Gels nehmen während der Elektrolyse deutlich ab, während sich der pH-Wert des Wassers erhöht. Die Stromstärke steigt während der Elektrolyse an.



Die bei der Elektrolyse in Wasser stattfindende Kontraktion des Gels geht von der Anode aus. Dort werden aufgrund der elektrolytischen Zersetzung des Wassers Protonen gebildet, die die Carboxylatgruppen des Gels unter Bildung von Carboxylgruppen protonieren. Es werden Na^+ -Ionen freigesetzt, welche mit den an der Kathode gebildeten Hydroxidionen eine wässrige Natriumhydroxidlösung bilden. Dies

erklärt den Anstieg der Stromstärke und des pH-Wertes. Das elektrische Feld übt auch eine Kraft auf die innerhalb des Polymers vorhandenen negativ geladenen Carboxylatgruppen aus, so dass das Gel zur Anode gezogen wird.

Hier können viele Kenntnisse aus anderen Kontexten angewendet werden.

5 Der Lernzyklus „Leitfähige Polymere“

Elektrisch leitfähige Polymere sind Polymere, die im nativen Zustand elektrische Isolatoren darstellen, denen durch gezielte Maßnahmen elektrische Leitfähigkeit vermittelt werden kann. Denn elektrische Leitfähigkeit ist eine Eigenschaft, die (insbesondere in den Augen von Schülern und Schülerinnen) in erster Linie den Metallen zugeschrieben wird. Polymere gelten in der Elektronik in der Regel als Isolatoren. So wird zum Beispiel Polyvinylchlorid zur Ummantelung von Kabeln und elektrischen Leitungen verwendet.

Tatsächlich ist es jedoch gelungen, durch Dotieren eine Reihe von leitfähigen Polymeren zu entwickeln und manche von ihnen in unterschiedlichen Produkten, wie Batterien und Kondensatoren¹²⁴ einzusetzen und zu vermarkten. Die mögliche Verknüpfung von typischen Polymereigenschaften mit metallischer Leitfähigkeit eröffnet diverse weitere Anwendungsmöglichkeiten mit Vorteilen gegenüber Metallen, sei es in Bezug auf die geringe Dichte von Polymeren (die Masse der Kupferverkabelung in einem Flugzeug kann bis zu 1,8t betragen¹²⁵) oder hinsichtlich der Redoxeigenschaften oder der optischen Aktivität bestimmter Vertreter der leitfähigen Polymere.

5.1 Fachliche Grundlagen

Die elektrische Leitfähigkeit eines Materials ist ein Maß für den bei einer bestimmten Spannung erreichbaren Stromfluss. Sie wird in der Regel als spezifische Leitfähigkeit σ in $\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ angegeben, also bezogen auf einen Leiter mit der Länge 1 cm und dem Querschnitt 1 cm^2 (bzw. auch σ in $\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$). Die spezifische Leitfähigkeit eines Werkstoffes ist der Kehrwert seines spezifischen Widerstandes ρ (angegeben in $\Omega \cdot \text{cm}$), so dass gilt:

¹²⁴ Miller, 1993, S. 673

¹²⁵ ebd. S. 588

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \text{oder allgemein:} \quad R = \frac{1}{G},$$

wobei G der Leitwert und R der Widerstand eines beliebigen Leiterstückes ist. Für den Widerstand R gilt das *Ohmsche Gesetz*: $U = I \cdot R$

Die Bestimmung der Leitfähigkeit erfolgt im Allgemeinen über eine Vierpunktmessung, da die im Stromkreis vorhandenen Kontaktwiderstände häufig gleich groß oder größer sind als die des zu untersuchenden Materials.¹²⁶ Hierzu dient z.B. die *Wheatstone'sche Brücke*. Mit ihrer Hilfe kann man einen unbekanntem Widerstand mit Hilfe dreier bekannter Widerstände sehr präzise bestimmen. Des Weiteren sind Leitfähigkeiten bzw. Widerstände in der Regel temperaturabhängig, wobei gilt, dass der Widerstand von Metallen sich proportional, der von Halbleitern antiproportional zur Temperatur verhält.¹²⁷

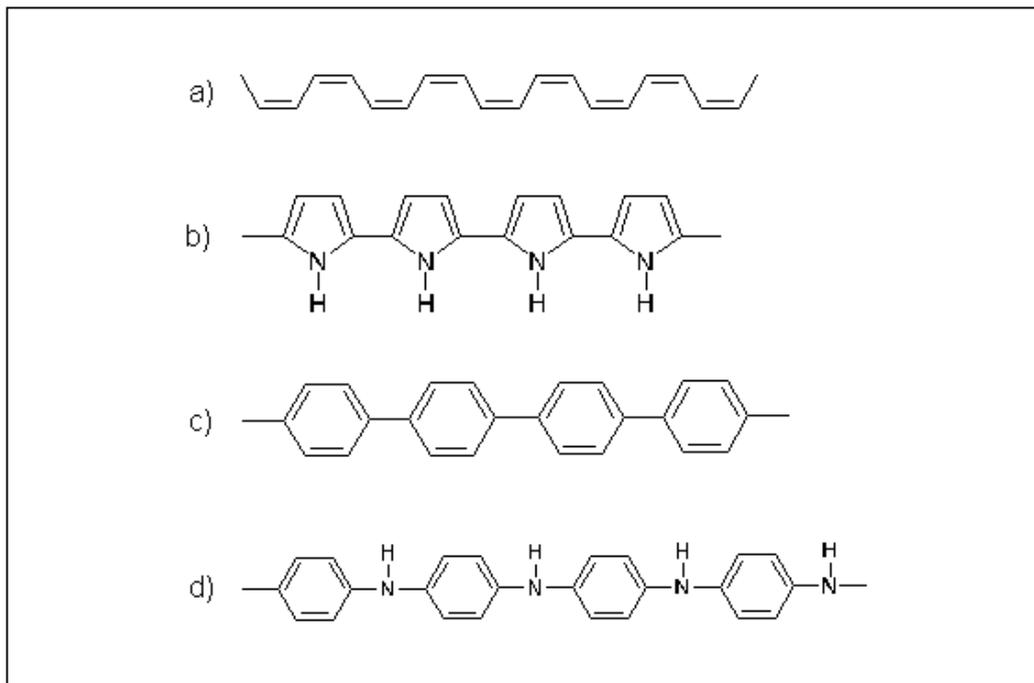
Durch Zusatz von leitfähigen Füllstoffen wie Ruß, Kohlenstoff- oder Stahlfasern, Nickel-beschichtete Glimmer oder Aluminiumplättchen in makromolekulare Werkstoffe können leitfähige Kunststoffe erhalten werden, deren Leitfähigkeit allerdings mit bis zu $10^3 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ sehr niedrig ausfällt. Allerdings wird bei diesem Verfahren erstens die mechanische Festigkeit des Polymers herabgesetzt, zum zweiten verläuft der Leitungsvorgang durch den Zusatzstoff und nicht durch das Polymer. Diese Polymere werden als Widerstandsheizelemente, z.B. zur Heizung von Betten und Fußböden eingesetzt.

Bei geeigneter chemischer Struktur des Makromoleküls ist es jedoch möglich, Leitfähigkeit ohne Zusätze zu gewährleisten – man spricht dann von intrinsisch leitfähigen Polymeren. Diese Polymere können (kommerziell hergestellt) Leitfähigkeiten von bis zu $10^4 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ erreichen.¹²⁸ Beispiele für diese intrinsisch leitfähigen Polymere sind in der folgenden Abbildung dargestellt: cis-Polyacetylen (a), Polypyrrol (b), Poly-p-phenylen (c) und Polyanilin(d).

¹²⁶ Menke et al., 1986, S. 8

¹²⁷ Tipler, 1994, S. 753

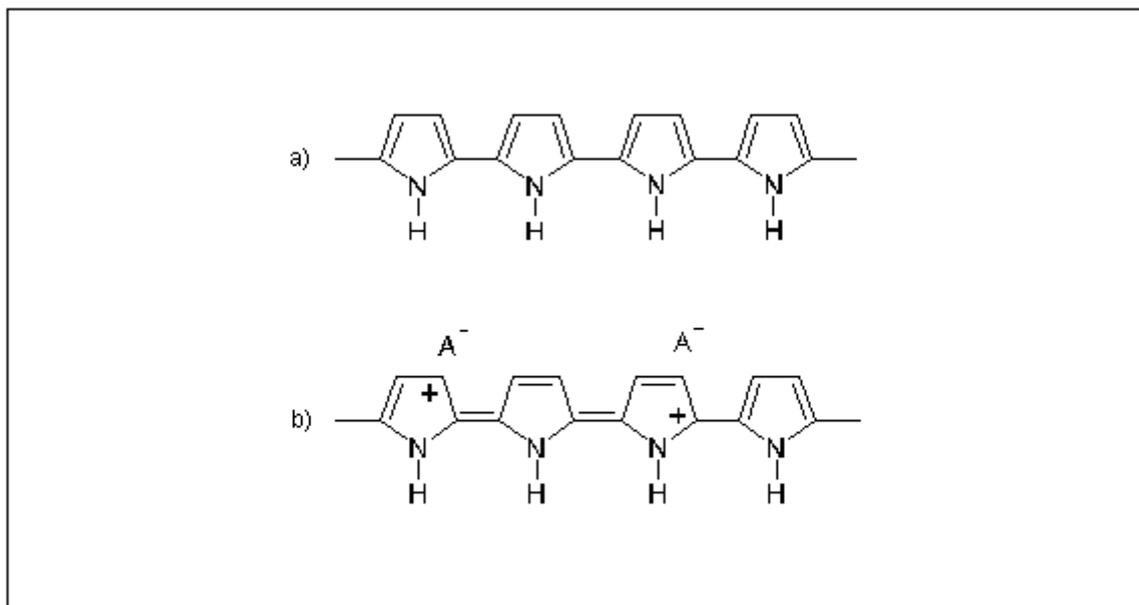
¹²⁸ Menke et al., 1986, S. 2



Voraussetzung für die Leitfähigkeit von Polymeren ist die Existenz von beweglichen Ladungsträgern innerhalb des Makromoleküls. Folglich war es auch für lange Zeit das Ziel der Forschung, Makromoleküle mit möglichst ausgedehntem π -Elektronensystem in der Hauptkette zu synthetisieren. Diese Stoffe sind jedoch trotz der delokalisierten Elektronen Isolatoren, bestenfalls Halbleiter. Die Ursache hierfür stellt die Peierls-Verzerrung dar¹²⁹, eine Überstruktur der eindimensionalen Kette, die je zwei Atome zusammenrücken lässt und für eine zumindest teilweise Lokalisierung der Elektronen in Doppel- und Einfachbindungen sorgt. Aufgrund der Gitterverzerrung an der Fermi-Kante wird eine Energielücke zwischen Leitungs- und Valenzband gebildet. Der Bruch in der Kontinuität der Energiebanden wird durch den Verbrauch elastischer Energie während der Gitterverzerrung verursacht. So beträgt z.B. die Energie der Bandlücke E_g in einer gesättigten Kette wie beim Polyethen 5 eV. In einem System mit konjugierten Doppelbindungen wie z.B. Polyacetylen reduziert sich dieser Wert auf 1,5 eV. Daraus resultieren sehr niedrige Werte für die intrinsische Leitfähigkeit im Bereich von 10^{-17} S cm^{-1} bzw. 10^{-8} S cm^{-1} .

¹²⁹ Menke, 1986, S. 34

Bringt man die Polymerkette jedoch in einen oxidierten oder reduzierten Zustand, so ändert sich die Leitfähigkeit gravierend. A. J. Hegger und A. G. MacDiarmid¹³⁰ beobachteten 1977 zum ersten Mal dieses Phänomen am Polyacetylen¹³¹ und verglichen es mit dem Dotieren von Halbleitern. Obwohl die Zugabe eines Donor- bzw. Akzeptormoleküls als Dotierung bezeichnet wird, ist die ablaufende Reaktion tatsächlich eine Redoxreaktion. Die folgende Abbildung veranschaulicht dies am Beispiel des Polypyrrols (PPy). Während Polypyrrol normalerweise eine durchgehende Kette aus konjugierten Doppelbindungen aufweist (a), entsteht bei der Oxidation eine positive Ladung, bei weiterem Abzug von Elektronen eine doppelt positive Ladung pro Polymereinheit (b), welche als Bipolaron bezeichnet wird. Das Bipolaron kann als Ladungsträger bezeichnet werden¹³², jedoch ist die Frage, ob der Ladungstransport entlang der Polymerkette oder quer zur Kettenrichtung erfolgt, nicht vollständig geklärt.¹³³



Polypyrrol in reduzierter (a) und oxidierter Form (b).

¹³⁰ dieser bekam im Oktober 2000 dafür den Chemie-Nobelpreis.

¹³¹ Wegner, 1981, S. 352

¹³² Chance et al., 1986, S. 839

¹³³ Wegner, 1981, S. 364

Die Leitfähigkeit von leitfähigen Polymeren verhält sich proportional zur Temperatur und somit eher wie bei einem Halbleiter als bei einem Metall. Dort wird aufgrund von thermischen Gitterschwingungen die Beweglichkeit der Elektronen eingeschränkt und die Leitfähigkeit gesenkt.

Das Polypyrrol ist eines der gebräuchlichsten leitfähigen Polymere. Es wird in einer Reihe von Produkten kommerziell vertrieben, was seine Ursachen unter anderem in der hohen Langzeitstabilität der Verbindung haben dürfte.¹³⁴ In dieser Hinsicht ist das Polypyrrol z. B. dem Polyacetylen deutlich überlegen, obwohl es eine weitaus geringere Ausgangsleitfähigkeit aufweist.

Polypyrrol kann leicht auf elektrochemischem Wege durch anodische Oxidation synthetisiert werden, wobei eine gleichzeitige Dotierung erfolgt. Es scheidet sich als schwarz-blaue Folie an der Anode ab. Abgesehen von organischen Lösungsmitteln wie Acetonitril kann die Reaktion auch in wässriger Lösung von Leitsalzen wie Perchloraten, Phenylsulfaten oder Fluorboraten erfolgen¹³⁵, was eine größere Variation der dotierenden Gegenionen ermöglicht. Bei der elektrochemischen Polymerisation entsteht die oxidierte Form des Polypyrrols mit in die Polymermatrix eingelagerten Gegenionen, welche die positiven Ladungen ausgleichen. Die Wahl des Gegenions hat einen großen Einfluss auf die physikalisch-chemischen Eigenschaften der leitfähigen Folie, nicht jedoch auf den Oxidationsgrad, der ein intrinsisches Charakteristikum des Polymers ist.¹³⁶ Der Einsatz relativ kleiner anorganischer Anionen wie Nitrat oder Perchlorat führt zu spröden Produkten, die Gegenionen können im Reduktionsprozess schnell aus der Folie austreten. Der Prozess ist reversibel; oxidiertes und reduziertes Polypyrrol bilden ein Redoxsystem. Sterisch anspruchsvolle Gegenionen, wie organische Sulfonate, führen zu elastischeren und stabileren Folien mit ähnlicher Leitfähigkeit.¹³⁷ Der Austritt aus der Polymerstruktur im Reduktionsprozess ist hier

¹³⁴ Street, 1986, S. 266

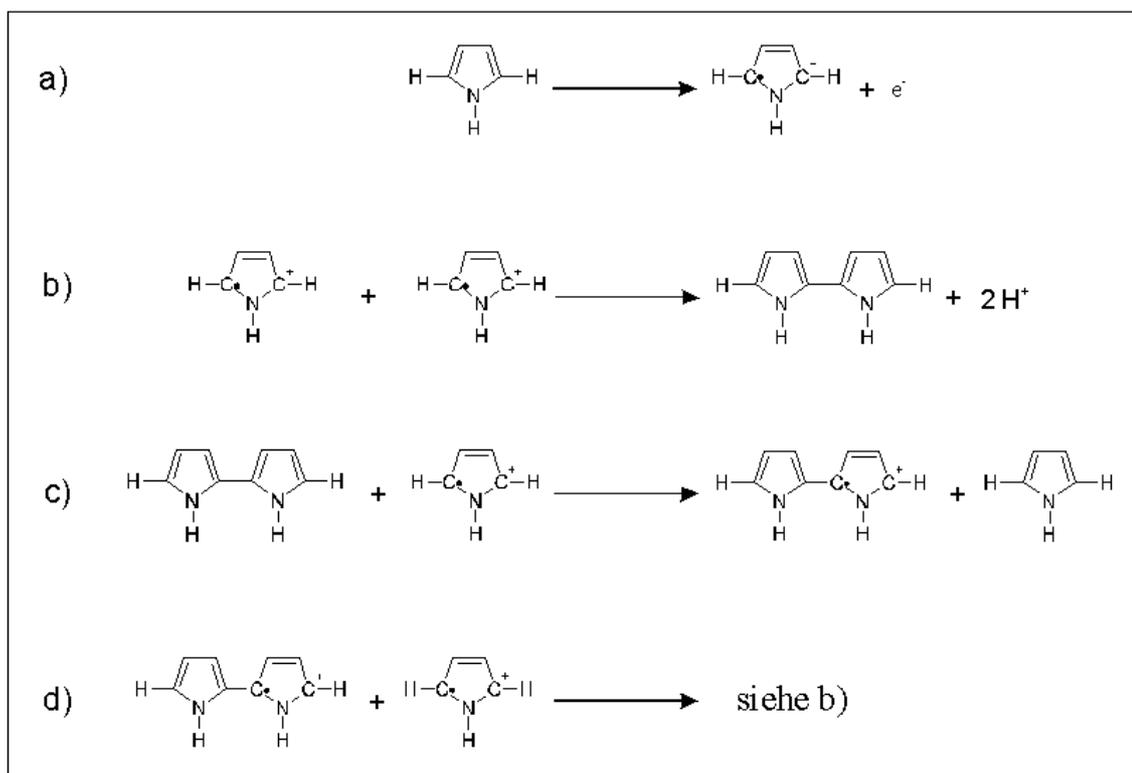
¹³⁵ ebd., S. 268

¹³⁶ Diaz, & Bargon, 1986, S. 91

¹³⁷ Iseki et al., 1993, S. 222

jedoch sterisch gehindert und hat einen verlangsamen Einfluss auf die Kinetik der Reaktion.¹³⁸

Der exakte Mechanismus der Polymerisation von Pyrrol ist bis heute nicht vollständig geklärt, eine eingehende Darstellung findet man bei Andrieux et al.¹³⁹. Die Reaktion startet zunächst mit der anodischen Oxidation von Pyrrol, wobei ein Radikalkation entsteht (in der Abbildung Schritt a). Die der Lösung zugesetzten Anionen dürfen hierbei nicht so nucleophil sein, dass sie irreversibel mit diesem Radikalkation reagieren.¹⁴⁰ Zwei dieser Radikalkationen kondensieren nun unter Abgabe von zwei Protonen zum Dimer (b). Diese Schritte finden nacheinander statt, d.h. die C-C-

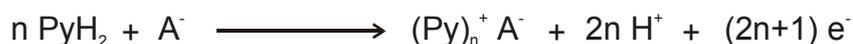


¹³⁸ Diaz & Bargon, 1986, S. 95

¹³⁹ Andrieux et al., 1991, S. 10159

¹⁴⁰ Wegner, 1981, S. 360

Bindungsbildung erfolgt durch zwei positiv geladene Radikale, nicht etwa nach der Deprotonierung. Da Oligomere des Pyrrols leichter zu oxidieren sind als das Monomer¹⁴¹, wird das Dimer nun durch ein weiteres Pyrrol-Radikalkation oxidiert (c), um somit die Kettenreaktion fortzusetzen (d). Die Polymerisation findet nur an der Elektrodenoberfläche statt.¹⁴² Es handelt sich also nicht etwa um eine Kettenreaktion, bei der an der Elektrode nur die Startradikale gebildet werden und die Reaktion selbsttätig weitergeht, sondern jedes Reaktionszentrum muss (vermittelt über ein Pyrrol-Radikalkation) einzeln aktiviert werden. Bei einem Oxidationsgrad von n Pyrrol-Ringen pro positiver Ladung (bzw. Gegenionen) ergibt sich formal folgende Reaktionsgleichung:



Aufgrund seiner Unlöslichkeit sind Aussagen über die molekulare Struktur des Produktes schwer zu treffen. Da eine ausschließliche Dimerisierung der Radikalkationen an den α -C-Atomen des Pyrrols kaum zu erwarten ist, sollte man isomere Strukturen vermuten.¹⁴³ Ein Schützen dieser Positionen verhindert jedoch die Polymerisation¹⁴⁴, somit sollte also doch von einer bevorzugten Verknüpfung über diese Position ausgegangen werden. Die Gegenionen liegen hierbei in der Ebene des Makromoleküls.¹⁴⁵ Die Morphologie des Polymers ist sehr kompliziert und größtenteils unaufgeklärt. Demzufolge ist ein Modell zur Erklärung der makroskopisch gemessenen Leitfähigkeit schwer zu erarbeiten. Man findet jedoch wie bei allen leitfähigen Polymeren eine Proportionalität der Leitfähigkeit zur Temperatur.¹⁴⁶ Die Leitfähigkeit der Polymere ist zudem abhängig von der chemischen Struktur des Polymeren und der Art und Weise des Dotierungsmittels.

¹⁴¹ Diaz et al., 1981, S. 356

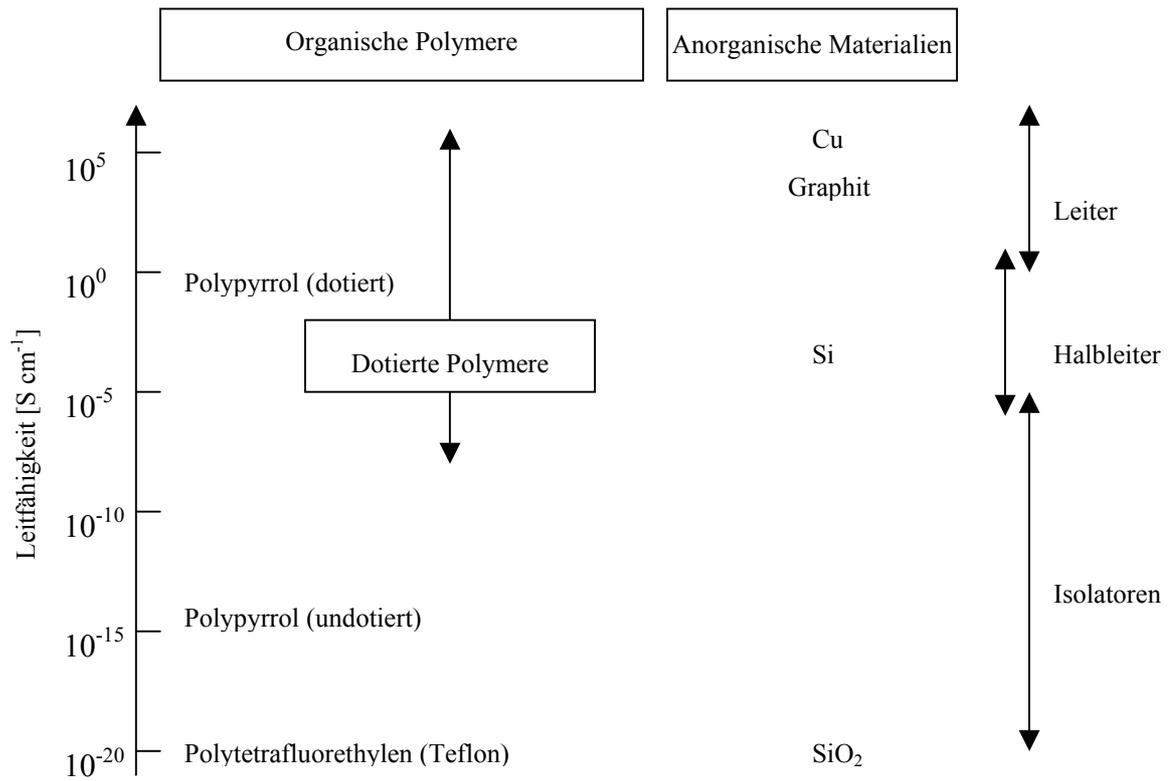
¹⁴² Jérôme et al., 1998, S. 2641

¹⁴³ Wegner, 1981, S. 369

¹⁴⁴ Street, 1986, S. 273

¹⁴⁵ Mitchell, 1986, S. 348

¹⁴⁶ Wegner, 1981, S. 368



5.2 Didaktische Aufbereitung

5.2.1 Tabellarischer Überblick mit didaktischem Kommentar

| | kontextlicher Inhalt | chemischer Inhalt |
|-----------------------------------|--|---|
| Begegnungsphase | <p>→ Pressemitteilung der Firma NOKIA</p> <p>→ Schülerinnen und Schüler diskutieren über die Funktionsweise des Akkus und tauschen ggf. Erfahrungen aus.</p> | |
| Neugierphase | <p><u>Strukturierung und Sammlung von Leitfragen</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie kann ein Polymer den elektrischen Strom leiten? • Wie funktioniert ein Polymer-Akkumulator? • Herstellung und Untersuchung eines leitfähigen Polymers | |
| Erarbeitungsphase | <p>a. Gruppenpuzzle</p> <p>→ Mechanismen der Leitfähigkeit</p> <p>→ Elektrischer Strom</p> <p>→ Polypyrrol</p> <p>→ Elektrochemische Elemente und Akkumulatoren</p> <p>b. Experimente und Internetrecherche</p> <p>→ Darstellung von Polypyrrol</p> <p>→ Prüfung der Leitfähigkeit</p> <p>→ Nachweis der Anioneneinlagerung</p> <p>→ Bau eines Zn/Polypyrrol-Akkumulators</p> <p>→ Internetrecherche</p> | <p>→ physikalisch-chemische Grundlagen der Leitfähigkeit bei unterschiedlichen Materialien (Metall, Graphit etc.)</p> <p>→ Mechanismus der Polypyrrolsynthese, Stoffchemie von Edukt und Produkt</p> <p>→ Grundlagen der Elektrochemie</p> <p>→ Redoxchemie</p> <p>→ Anwendung von chemischen Inhalten in Industrie und Forschung</p> |
| Vertiefungs- und Vernetzungsphase | <ul style="list-style-type: none"> • Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur • Quantitative Bestimmung des Oxidationsgrads • Wirkungsgrad des Zn/Polypyrrol-Akkumulators | <p>→ quantitatives experimentelles Arbeiten</p> <p>→ physikalisch-chemische Begriffe: Wirkungsgrad, Faraday-Konstante</p> |

Aus dem Lernzyklus zum Thema ließen sich folgende Lernziele ableiten:

Die Schülerinnen und Schüler

- kennen die Ursachen für elektrische Leitfähigkeit auf der Ebene der Molekülstruktur und können somit von der Leitfähigkeit als Stoffeigenschaft abstrahieren.
- kennen die molekularen Voraussetzungen für elektrische Leitfähigkeit in Polymeren und können dies anhand von Beispielen erläutern.
- erkennen den Zusammenhang zwischen der Elektrizitätslehre aus dem Physikunterricht und der Beschreibung von Struktur und Verhalten der Materie im Chemieunterricht.
- kennen Pyrrol und Polypyrrol sowie dessen Darstellung als Beispiel für eine elektrochemische Polymerisation.
- können ihr Wissen aus der Elektrochemie von den Metallen abstrahieren und durch Diskussion der molekularen Struktur auf Makromoleküle übertragen.
- erkennen den Themenkomplex als aktuelles Forschungsgebiet mit kommerzieller Relevanz.

5.2.2 Erläuterungen zu den einzelnen Phasen

Begegnungs- und Neugierphase

Als Einstieg in den Lernzyklus kann eine Pressemitteilung der Firma Nokia über ihren Lithium-Polymer-Akku dienen, denn viele Schüler und Schülerinnen verfügen heutzutage bereits über ein Handy. Ihr Wissen um Modelle, Neuerungen und Anbieter dürfte das der Lehrperson mitunter sogar übersteigen. Der neuartige Lithium-Polymer-Akkumulator der Firma Nokia ist aufgrund seiner günstigen spezifischen Energiedichte ein zukunftsweisendes Novum. Weitere Anbieter, wie die Firma Panasonic, arbeiten an derartigen Energiequellen, die mittelfristig auch auf dem europäischen Markt angeboten werden dürften. Die Entwicklungen auf diesem Forschungsgebiet haben neuerdings sogar zu Veröffentlichungen in populärwissenschaftlichen Zeitschriften geführt.¹⁴⁷ Somit erfüllt der Kontext die Anforderungen der Konzeption „Chemie im Kontext“, er ist forschungsrelevant und dem Alltag der Schülerinnen und Schüler entlehnt. Zudem ist er sowohl für Schüler als auch Schülerinnen interessant, es gibt keine geschlechtsspezifische Akzentuierung. Die Tatsache, dass eine Elektrode des Akkus aus einem Polymer besteht, führt direkt zu der Thematik „leitfähige Polymere“. Da Polymere im Alltag in der Regel nicht leiten und in Form von Kabelummantelungen und Griffen von Stromprüfern sogar gezielt zur Isolation eingesetzt werden, dürfte der Kontext direkt einen kognitiven Konflikt induzieren.

¹⁴⁷ z. B. Bild der Wissenschaft, 10/2000, S. 84

Die Thematik macht ebenso deutlich, dass zum Verstehen dieses Sachverhaltes Wissen aus dem vorherigen Unterricht (Elektrochemie) und aus anderen Fächern (Physik-Elektrizitätslehre) aktiviert werden muss. Der Kurs knüpft also an Vorwissen an und dekontextualisiert das Thema Elektrochemie, indem von der ausschließlichen Betrachtung des Verhaltens der Metalle abgesehen wird. Inhalte werden also sowohl über den Kontext (Polymere in der Elektronik) als auch über die Basiskonzepte (Struktur-Eigenschafts-Konzept, Donator-Akzeptor-Konzept) verknüpft.

In der Neugierphase sollten dementsprechend folgenden Fragen formuliert werden:

- *Wie kann ein Polymer den elektrischen Strom leiten?*
Dies impliziert natürlich die Frage nach der Ursache für elektrische Leitfähigkeit in Stoffen allgemein. Eine Auseinandersetzung mit den Prinzipien der Leitfähigkeit auf molekularer Ebene ist für das Verständnis des Kontextes zwingend notwendig. Andererseits müssen diese Erkenntnisse auf die Polymere angewandt werden, was zu mechanistischen und stoffchemischen Fragestellungen führt.
- *Wie stellt man ein leitfähiges Polymer her und welche Eigenschaften besitzt es?*
Anhand des Polypyrrols können exemplarisch und unter schulischen Bedingungen die theoretischen Erkenntnisse praktisch verifiziert werden. Die Substanz lässt sich darstellen und auf ihre Eigenschaften hin untersuchen, es kann damit sogar auch ein Akkumulator gebaut werden.
- *Wie funktioniert ein Polymer-Akkumulator?*
Auch hier leuchtet es ein, dass die Bearbeitung der Fragestellung die Notwendigkeit beinhaltet, Wissen sowohl aus dem Bereich der makromolekularen Chemie als auch der Elektrochemie zu erarbeiten.

Erarbeitungsphase

Die sich anschließende Erarbeitungsphase ist zweigeteilt geplant. In ihr sollen in einer eher theoretischen Phase die Grundlagen wiederholt bzw. erarbeitet werden, die für den anschließenden praktisch-experimentellen Teil die Basis bilden. Diese scheinbar formale Teilung wurde gewählt, um die Schülerinnen und Schüler in der anschließenden Phase zu möglichst selbstständigem Experimentieren anzuregen wie es für eine konstruktivistische Unterrichtsgestaltung erwünscht ist. Zur Erarbeitung der

grundlegenden Wissensbereiche zum Thema „Leitfähige Polymere“ bietet sich ein Gruppenpuzzle an. Auf die besonderen Vorzüge dieser kooperativen Arbeitsform wurde im Theorieteil schon gesondert eingegangen. Das selbsttätige Erarbeiten der Inhalte und die Tatsache, dass die Schülerinnen und Schüler untereinander für die Vermittlung derselben verantwortlich sind, sollte die Intentionen der Konzeption „Chemie im Kontext“ unterstützen. Das Verstehen des Kontextes wird zum gemeinsamen Ziel der Klasse, das Erarbeiten der fachwissenschaftlichen Inhalte erhält eine Legitimation über den Rahmenplan hinaus.

Der Themenkomplex lässt sich in vier Bereiche aufteilen, die entweder eine Wiederholung darstellen (elektrochemische Elemente), vorhandenes Wissen aus anderen Fächern aktivieren (elektrischer Strom), bekannte Sachverhalte durch die Art der Fragestellungen und die Auswahl des Materials neu akzentuieren (Mechanismen der Leitfähigkeit) oder ein neues Makromolekül mit seinen Eigenschaften vorstellen (Polypyrrol). Diese Themenbereiche liefern die theoretischen Grundlagen zur experimentellen Arbeit im zweiten Teil der Erarbeitungsphase.

| Arbeitsgruppe | Fachwissenschaftliche Inhalte |
|--|---|
| Gruppe 1: Mechanismen der Leitfähigkeit | <ul style="list-style-type: none"> • Theoretische Grundlagen zur Leitfähigkeit in Metallen, Graphit, Halbleitern und Polymeren • Verallgemeinerung der Ergebnisse |
| Gruppe 2: Elektrischer Strom | <ul style="list-style-type: none"> • Wiederholung der physikalischen Grundlagen der Elektrizitätslehre • Verknüpfung von Physik und Chemie (Elementarladung, Faraday-Konstante) |
| Gruppe 3: Polypyrrol | <ul style="list-style-type: none"> • physikalisch-chemische Eigenschaften des Pyrrol-Moleküls • Eigenschaften und Synthese von Polypyrrol |
| Gruppe 4: Elektrochemische Elemente | <ul style="list-style-type: none"> • Aufbau und Funktionsweise eines elektrochemischen Elements • Redoxreaktionen |

Das Selbststudienmaterial ist unter dem Gesichtspunkt möglichst großer Authentizität zusammengestellt worden. Da das selbsttätige Erarbeiten der wissenschaftlichen Inhalte in der Expertenrunde im Vordergrund steht und die Schülerinnen und Schüler sich

selbst zu „Experten“ ausbilden sollen, können hierfür z.B. gebräuchliche Physik-Schulbücher genutzt werden.

Neben dem Aneignen der Inhalte stellt das gegenseitige Unterrichten einen weiteren wichtigen Schritt des Gruppenpuzzles dar. Eine zu starke didaktische Aufbereitung des Materials birgt die Gefahr eines bloßen Übernehmens des Materials, ohne dass sich die Experten und Expertinnen um ein tieferes Verständnis bemühen. Diese würden dann bloß als Medium für einen von der Lehrperson ausgearbeiteten Unterricht fungieren, ohne sich innerhalb der Expertenrunde mit der Art der Vermittlung der Inhalte auseinander zu setzen. Um letzteres aber zu gewährleisten, ist zu Beginn eine kurze Zusammenstellung der relevanten Lerninhalte gegeben.¹⁴⁸ Nach einer solchen Übersicht und einer Arbeitsanleitung für die Schülerinnen und Schüler wird der eigentliche Inhalt dargelegt, gefolgt von Fragen zur Selbstkontrolle, die ebenfalls den Inhalt abstecken.

¹⁴⁸ Frey-Eiling & Frey, 2000, S. 55.

5.3 Schülerversuche zum Thema „Leitfähige Polymere“

Auch beim experimentellen Teil sollen kooperative Arbeitsformen zum Zuge kommen. Das Lernen an Stationen lässt sich beim experimentellen Arbeiten modifizieren, indem die Stationen mehr oder weniger vorbereitete Experimentierplätze darstellen, an denen in Kleingruppen gearbeitet werden kann. Die Bedeutung für soziales Lernen bleibt erhalten, die Schüler und Schülerinnen können selbstständig arbeiten. Die Möglichkeit einer Binnendifferenzierung bietet sich durch den Einsatz von obligatorischen grundlegenden Experimenten sowie fakultativen Versuchen für leistungsstärkere Schüler und Schülerinnen.

Als einzige nicht-experimentelle Station ist eine Internetrecherche zu kommerziellen Anwendungen geplant. Der Einbezug der neuen Medien als eine Forderung in der Konzeption „Chemie im Kontext“ kann an dieser Stelle sinnvoll umgesetzt werden. Der Überblick über kommerzielle Anwendungen von leitfähigen Polymeren verleiht dem Thema zusätzliche Authentizität. Des Weiteren vergegenwärtigen sich die Schülerinnen und Schüler dadurch auch den Zusammenhang zwischen Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft. Auch hier können Suchhilfen in Form von relevanten Adressen zur Verfügung gestellt werden (siehe Anhang).

Die Versuchseinheit ist in der nachfolgenden Grafik dargestellt. Im äußeren Kreis befinden sich die grundlegenden, obligatorischen Versuche (V1-4) und die Internetrecherche. Die Versuche bauen aufeinander auf, so dass die Schülerinnen und Schüler ihre in Versuch 1 synthetisierten Folien zu den anderen Stationen mitnehmen können. Als Reserve sollten einige Folien von der Lehrperson vorproduziert werden. Den inneren, fakultativen Kreis bilden drei anspruchsvollere, quantitative Erweiterungsexperimente (EV1-3), die teilweise computerunterstützt bewerkstelligt werden. Diese Experimente repräsentieren auch eine Vertiefungsmöglichkeit im Lernzyklus.

Zweckmäßig ist es das freie Experimentieren in Doppelstunden durchzuführen. Durch die moderierende Rolle der Lehrkraft sollte sich eine „Workshop“-Atmosphäre einstellen. Die Experimente sind im Anhang in gesonderten Versuchsvorschriften

dargestellt. In einer konkreten Unterrichtssituation sollten diese nicht unbedingt als „bequemes“ Arbeitsmaterial für die Schülerinnen und Schüler dienen, sondern dahingehend modifiziert werden, dass den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit zur selbstständigen Auseinandersetzung gegeben wird. Die Versuche sind dazu in unterschiedlicher Weise geeignet, aber insbesondere die Basisversuche V1-4 bieten aufgrund der Ungefährlichkeit der Materialien und der gut reproduzierbaren Versuchsergebnisse die Möglichkeit des (abhängig vom Erfahrungsgrad unterschiedlich ausgeprägten) freien Experimentierens im Sinne der konstruktivistischen Lerntheorie.



Abbildung 1: Aufbau des experimentellen Lernzirkels
 - innerer Kreis fakultative Stationen
 - äußerer Kreis verpflichtende Stationen

5.3.1 Beschreibung der Basisversuche

V1: Darstellung von Polypyrrol



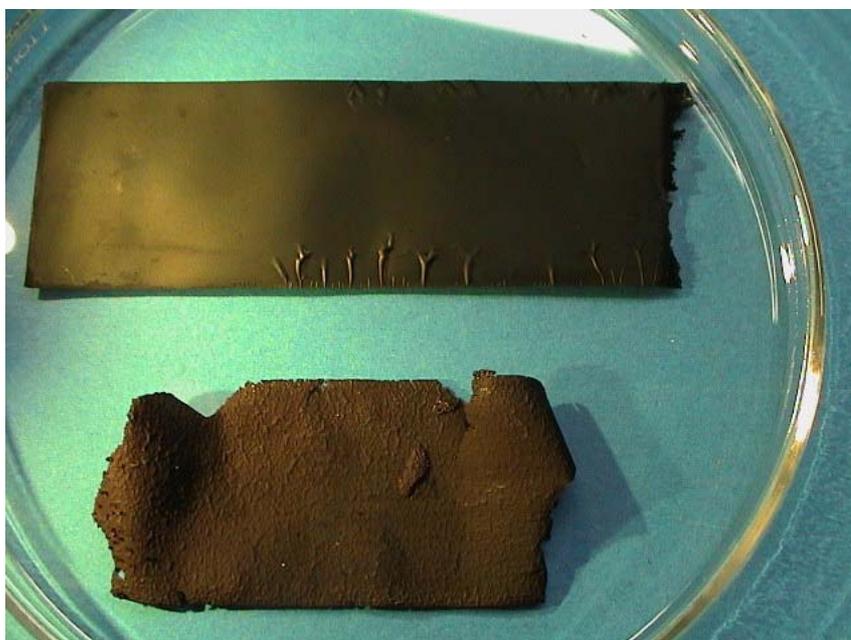
Polypyrrol kann – wie oben beschrieben – auf elektrochemischem Wege durch anodische Oxidation dargestellt werden. In der fachdidaktischen Literatur zeigen Flintjer und Jansen¹⁴⁹ dazu die Darstellung aus wässriger Lösung mit anorganischen Salzen. Die Resultate sind jedoch bei der angegebenen Stromdichte (von bis zu $300 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$) nicht zufriedenstellend, es ergeben sich außerordentlich spröde Produkte, die kaum weiterverwendbar sind. Geringere Stromdichten (ca. 70 mA) führen hier zu besseren Filmen und dies bei noch für Schulzwecke vertretbarer Elektrolysedauer von 30 Minuten. In fachwissenschaftlichen Aufsätzen wird sogar noch mit geringeren Stromstärken gearbeitet (Jérôme, C. bei $0,5 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$, Eisazadeh¹⁵⁰ bei $0,75 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$), das hat aber eine für den Schulunterricht unvermeidbar längere Arbeitszeit zur Folge.

Der Prozess der Einlagerung von Gegenionen in die Polymermatrix kann sehr gut durch die Benutzung von Perchlorationen nachgewiesen werden (siehe auch Versuch 3). Durch die Wahl der Gegenionen wird auch die Konsistenz des Produktes in großem Maße beeinflusst. So verleihen langkettige organische Anionen der entstehenden Folie eine größere Stabilität und Geschmeidigkeit. Da diese Folie anschließend von den Schülerinnen und Schülern für Leitfähigkeitsnachweise benutzt werden sollen, ist die Handhabbarkeit z.B. beim Einspannen in die Krokodilklemmen besser gewährleistet.

¹⁴⁹ Flintjer und Jansen, 1990, S.30

¹⁵⁰ Eisazadeh et al., 1994, S. 1755

Das in der Literatur vorgeschlagene Dodecylbenzolsulfonat¹⁵¹ stellt einen im Schulalltag verhältnismäßig seltenen Stoff dar. Besser geeignet erscheint mir Natriumlaurylsulfat, da diese Substanz aufgrund ihres Einsatzes in Duschgels und Shampoos im Alltag der Schüler und Schülerinnen eher verankert ist. Der Einsatz von Natriumlaurylsulfat führte bei den Vorversuchen zu ähnlich stabilen Folien und sollte in der Schule eher erhältlich sein. Die Wahl des dotierenden Anions stellt auch einen guten Anknüpfungspunkt für die Schülerinnen und Schüler zum selbsttätigen Experimentieren dar.



Die theoretischen Hintergründe des Polymerisationsvorgangs sind in dem beiliegenden Infoblatt beschrieben. Daraus müsste auch ersichtlich sein, dass H^+ -Ionen entstehen. Mit Hilfe des pH-Papiers kann der pH-Wert im sauren Bereich in unmittelbarer Umgebung der Anode nachgewiesen werden. Dies kann weder durch den Zusatz von Natriumperchlorat (alkalisch) noch durch eine Elektrolyse des Wassers (keine Gasentwicklung) zustande gekommen sein.

¹⁵¹ Bates et al, 1985, S.871

Da für die weiteren Versuche fertige Polypyrrol-Folien benötigt werden, wäre es sinnvoll, diese Station mit der gesamten Gruppe anzusteuern, um ausreichend Material für die folgenden Experimente herzustellen. Dies gewährleistet zudem, dass aufkommende Fragen (wo wird sich das Polymer abscheiden, was passiert an der anderen Elektrode o. ä.) vorab durch die betreuende Lehrkraft geklärt werden können. Insgesamt muss dabei darauf geachtet werden, dass sowohl Perchlorat- als auch Laurylsulfat-dotierte Folien in ausreichendem Maße hergestellt werden.

V 2: Leitfähigkeitsprüfung von Polypyrrol

Auch hier ist bewusst eine sehr offene Lernumgebung mit wenigen Vorgaben gewählt worden. Die Schüler und Schülerinnen müssten aufgrund ihrer Vorkenntnisse in der Lage sein, sich eigenständig mit der Frage des Nachweises der Leitfähigkeit auseinander zu setzen. Sollten dies eine Überforderung darstellen, so existiert eine Vorgabe, die ggf. dann durch die Lehrkraft ausgegeben werden kann.

V3: Nachweis der Anioneneinlagerung

Die elektrochemisch hergestellte oxidierte Polypyrrolfolie enthält bei Verwendung von Natriumperchloratlösung die zum Ausgleich der positiven Ladungen der Polymerkette eingelagerten Perchlorationen. Nach der Reduktion der Folie in einem elektrochemischen Element sind diese Anionen aus dem Makromolekül ausgetreten. Dieser Unterschied ist durch Verbrennen der beiden Folien nachweisbar. Während die oxidierte Folie in der Bunsenbrennerflamme deutlich knistert, verkohlt die reduzierte Folie lautlos. Es bietet sich an, diese beiden Nachweise parallel durchzuführen, nachdem man beide Arten von Folien ausgiebig in destilliertem Wasser gewaschen hat. Ein allzu sorgfältiges Trocknen ist nicht nötig, da der Nachweis auch problemlos mit

feuchten Folien funktioniert. Der Perchloratnachweis findet sich auch in der Literatur bei Flintjer, ohne jedoch in das Prinzip des Ladens und Entladens eingebunden zu werden. Gerade hier aber bietet die beschriebene Versuchsanordnung eine Möglichkeit, den Austritt der Gegenionen aus dem Polymer bei der Reduktion anschaulich werden zu lassen.

V 4: Der Zink/Polypyrrol-Akkumulator

Oxidiertes und reduziertes Polypyrrol bilden bei der Dotierung mit kleinen Anionen ein Redoxsystem, welches zusammen mit einem unedlen Metall wie Zink ein elektrochemisches Sekundärelement bilden kann. Dies ist auch bei Flintjer¹⁵² beschrieben, allerdings erscheint es nicht sinnvoll, das Polymer an der Edelstahlelektrode zu belassen, da zwischen Zink und Edelstahl eine Potenzialdifferenz besteht.

Die Leistung des auf dem beschriebenen Wege hergestellten Akkumulators beträgt maximal 1 mW, was das Spektrum an Verbrauchern stark einschränkt. Als zweckmäßig haben sich hier kleine Elektromotoren aus elektrochemischen Experimentiersets bzw. Solarmotoren erwiesen. Der Auf- und Entladevorgang ist beliebig oft zu wiederholen, die reduzierte Polypyrrol-Folie ist jedoch sehr anfällig gegenüber der Oxidation mit Luftsauerstoff, was auch bei Diaz/Bargon beschrieben ist¹⁵³. Die entladenen Folien sollten zum Nachweis der Anioneneinlagerung in V3 benutzt werden.

Internetrecherche-Station

Auch bei diesem Thema bietet sich aufgrund der Aktualität und der Bezüge zum Alltag eine Internetrecherche an. Es handelt sich allerdings bei diesem Thema in der Regel um Werbeseiten, so dass hier auch exemplarisch geübt werden kann, wie Medienkompetenz

¹⁵² Flintjer & Jansen, 1990, S. 31

¹⁵³ Diaz & Bargon, 1986, S. 95

in Hinblick auf Bewertung von Inhalten erworben werden kann. Die Tatsache, dass bekannte Firmen Produkte mit leitfähigen Polymeren vertreiben, bietet jedoch auch eine Chance, die Authentizität des Kontextes zu unterstreichen. Zur Ergebnissicherung sollten die Schüler und Schülerinnen die Art der Verwendung des leitfähigen Polymers in dem jeweiligen Produkt herausfiltern und den Vorteil desselben gegenüber herkömmlichen Materialien notieren. Die ausgewählten Hyperlinks sind exemplarischer Natur. Sie können jederzeit aktualisiert werden, was auch eine Aufgabe für sachkundige Schüler und Schülerinnen darstellt.

5.3.2 Vertiefung und Vernetzung

EV1: Messung der Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur

Die Zunahme der Leitfähigkeit von Polypyrrol mit zunehmender Temperatur lässt sich ohne weiteres im Schulversuch nachweisen. Eine entsprechende Versuchsvorschrift findet sich bei Bunting et al.¹⁵⁴, allerdings ist dort der beschriebene Versuchsaufbau m. E. nicht praktikabel. Der Ersatz des dort aufgeführten Wasserbades durch einen 250 W Infrarotstrahler reduziert zwar den zugänglichen Temperaturbereich (von Raumtemperatur bis ca. 50 °C), durch die computerunterstützte Aufnahme der Messwerte ist jedoch trotz unvermeidlicher statistischer Schwankungen die Proportionalität von Leitfähigkeit und Temperatur eindeutig zu erkennen.

¹⁵⁴ Bunting et al., 1997, S. 421

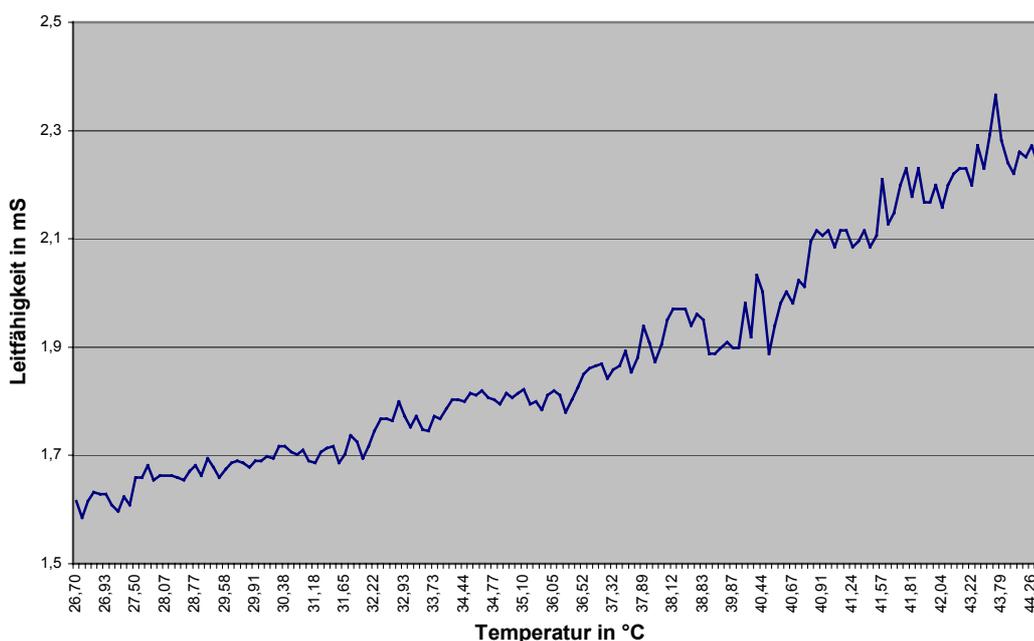


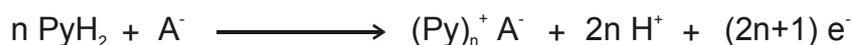
Abbildung 2: Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit (dargestellt in MS-Excel[®])

Die Werte für Leitfähigkeit und Temperatur wurden gleichzeitig über den Leitfähigkeitseingang und den NiCrNi-Tempersensor der Chembox[®] aufgenommen und nach dem Export der Daten in MS-Excel[®] grafisch aufgearbeitet. Die grundlegenden Prinzipien der Arbeit mit einem A/D-Wandler wurden im Theorieteil schon besprochen.

Diese Messmethode genügt zwar nicht fachwissenschaftlichen Ansprüchen, denn es müsste aufgrund der Kontaktwiderstände die Leitfähigkeitsmessung über eine 4-Punkt-Messung oder *Wheatstone'sche Brücke* erfolgen. Zur Demonstration des Phänomens der Leitfähigkeitserhöhung mit zunehmender Temperatur im Schulunterricht ist die beschriebene Meßmethode jedoch gut geeignet.

EV2: Quantitative Bestimmung des Oxidationsgrades

Die Bildung einer einfach oxidierten Wiederholungseinheit in der Polypyrrol-Kette erfolgt gemäß folgender Formelgleichung:



wobei *Py* einen Pyrrol-Ring ohne Wasserstoffatome in α -Stellung darstellt und *n* die Anzahl von Pyrrol-Ringen in einer einfach oxidierten Wiederholungseinheit der Kette. A^- ist das in die Polymermatrix eingebaute Anion.

Der Parameter *n* (im Folgenden Oxidationsgrad genannt) lässt sich experimentell ermitteln, indem man die elektrochemischen Daten mit der Ausbeute vergleicht.¹⁵⁵ Bei konstanter Stromstärke gilt:

$$\frac{I \cdot t}{F(2n+1)} = \frac{m}{M_{\text{Pyrrol}} \cdot n + M_{\text{A}^-}} \text{ also:}$$

$$n = \frac{I \cdot t \cdot M_{\text{A}^-} - F \cdot m}{2 \cdot F \cdot m - I \cdot t \cdot M_{\text{Pyrrol}}}$$

wobei *F* die Faraday-Konstante, *I* die Stromstärke, *m* die Masse des trockenen Polymers und *t* die Dauer der Elektrolyse darstellt. Es bietet sich an, ein Gegenion mit möglichst großer Masse – also z.B. Laurylsulfat - zu verwenden, um die Masse des erhaltenen Produktes insgesamt zu erhöhen. Dem gegenüber sollten Elektroden mit möglichst geringer Masse (z.B. Edelstahlfolien) verwendet werden.

Die Durchführung des Experiments verläuft im Prinzip genauso wie die Darstellung in V1, weshalb auch keine gesonderte Versuchsvorschrift in den Materialien aufgeführt ist. Die Edelstahlelektroden sollten vor Beginn gewogen und die Massen notiert werden. Um Messfehler zu minimieren, muss während der Elektrolyse die Stromstärke genau beobachtet und diese bei Bedarf durch Regulierung der Spannung konstant gehalten

¹⁵⁵ Bunting et al., 1997, S. 421

werden. Ebenso ist auf eine exakte Einhaltung der Elektrolysedauer zu achten. Nach der Reaktion wird das Produkt gewaschen und über Nacht im Exsikkator über konz. H_2SO_4 getrocknet.

Der Oxidationsgrad liegt zwischen zwei und drei, d.h. jeder zweite bis dritte Pyrrol-Ring in der Polymer-Kette trägt eine positive Ladung. Unter den unten aufgeführten Bedingungen erhält man bei einer Elektrolyse für 30 Minuten und einer Stromstärke von 70 mA eine Ausbeute von ca. 100 mg Polypyrrol.¹⁵⁶

EV3: Der Wirkungsgrad des Zn/PPy-Akkumulators

Der Wirkungsgrad des Zn/PPy-Sekundärelements kann ermittelt werden, indem man die Energie, welche die Zelle abgibt, mit der beim Ladevorgang zugeführten Energie ins Verhältnis setzt. Die quantitative Entladung sowie die mathematische Auswertung der Messergebnisse können hierbei computerunterstützt erfolgen.

Die Energie errechnet sich aus:

$$P = U \cdot I \quad \text{und} \quad P = \frac{E}{t} \quad \text{also:} \quad E = U \cdot I \cdot t \quad [\text{Joule}]$$

Da sich beim Aufladevorgang bei konstanter Spannung durch die Änderung des Widerstands der Elektrolytlösung auch die Stromstärke ändert, muss diese in kurzen Zeitintervallen notiert werden. Zur Ermittlung der zugeführten Energie beim Aufladen gilt dann:

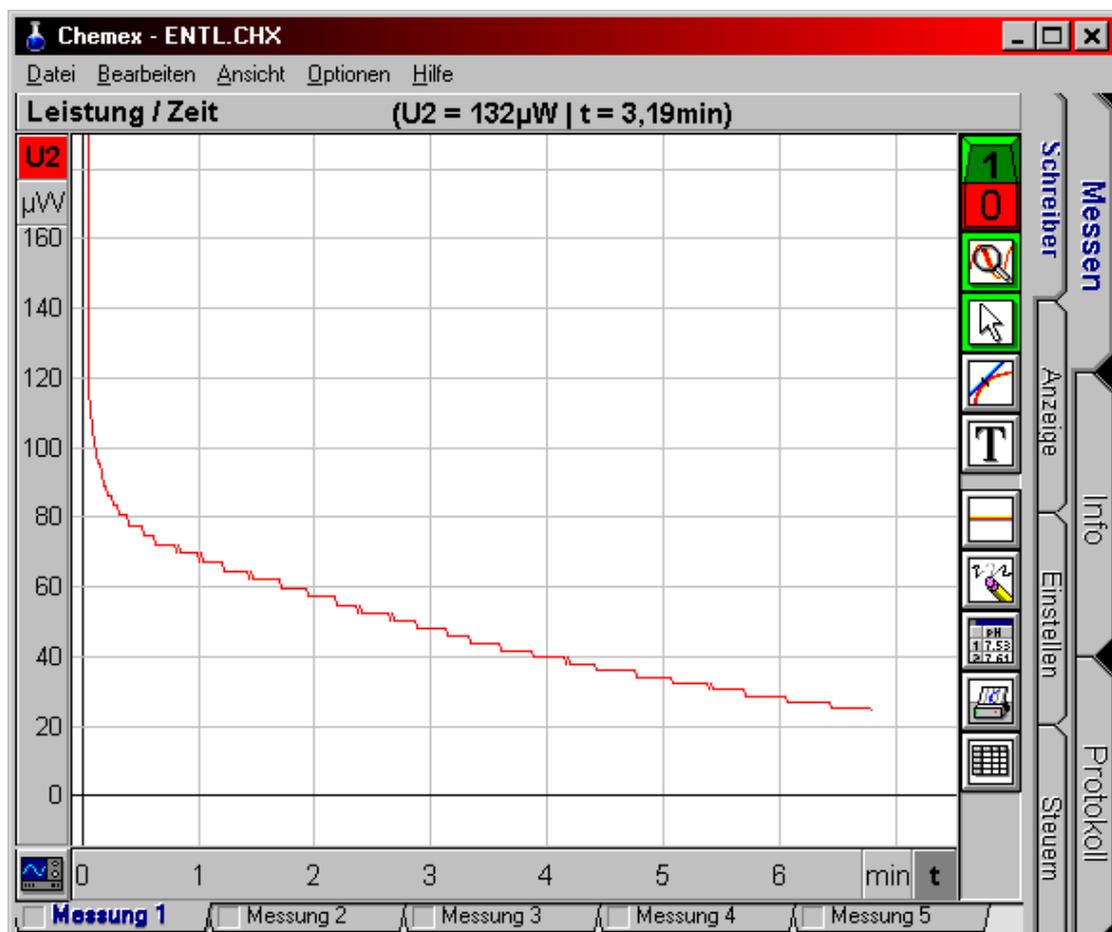
$$E = \sum_{i=1}^n U \cdot I_n \cdot 30s \quad \text{für } n \text{ Zeitintervalle von je 30 Sekunden.}$$

¹⁵⁶ Das Experiment funktioniert natürlich auch mit Metallen. Eine Elektrolyse einer CuSO_4 -Lösung „verbraucht“ 2 Elektronen pro abgeschiedenes Cu-Atom. Auch dieser Wert lässt sich auf o.g. Weise ermitteln; eine gute Möglichkeit zur Vernetzung von Inhalten.

Der Entladevorgang kann von einem A/D-Wandler erfasst und als Kurve dargestellt werden. Entlädt man den Akkumulator durch einen definierten Ohmschen Widerstand, so gilt nach:

$$U = R \cdot I \text{ und } P = U \cdot I : \quad P = \frac{U^2}{R}$$

Man kann somit zur Ermittlung der Energie ein P/t-Diagramm erstellen, welches in ein Datenverarbeitungsprogramm exportiert und dort integriert werden kann. Der Quotient aus zugeführter und abgegebener Energie stellt den Widerstand dar.



6 Vertiefung und Vernetzung

Von beiden Lernzyklen aus besteht die Möglichkeit einer vertikalen Vertiefung im Bereich der Polymerchemie. Als Ergänzung zu den beiden Polymer-Lernzyklen würden sich der Themenbereich der biologisch abbaubaren Kunststoffe oder Aspekte aus dem Bereich „Ein Auto ohne Kunststoffe?“ besonders eignen. So könnten in dem zuletzt genannten Lernzyklus weitere Polyreaktionen wie die Polyaddition oder –kondensation an Polyurethanen bzw. Polyamiden und deren molekularer Aufbau sowie die aus der Art der Polyreaktion resultierenden Eigenschaften erarbeitet werden. Bei den biologisch abbaubaren Kunststoffen könnten die Kondensationsreaktion und auch Aspekte der Hydrolyse aufgegriffen werden. Hierzu sind bereits einige Vorschläge für eine geeignete Lernumgebung veröffentlicht worden.¹⁵⁷ Die Polymer-Elektrolyt-Membran der Brennstoffzellen ergibt zusätzlich zu dem oben genannten Aspekt noch eine Schnittstelle zum Kontext „Ein Auto ohne Kunststoffe?“. Darüber hinaus stellen sich horizontale Verknüpfungsmöglichkeiten zu anderen Disziplinen wie zur Kunst oder Physik ein.

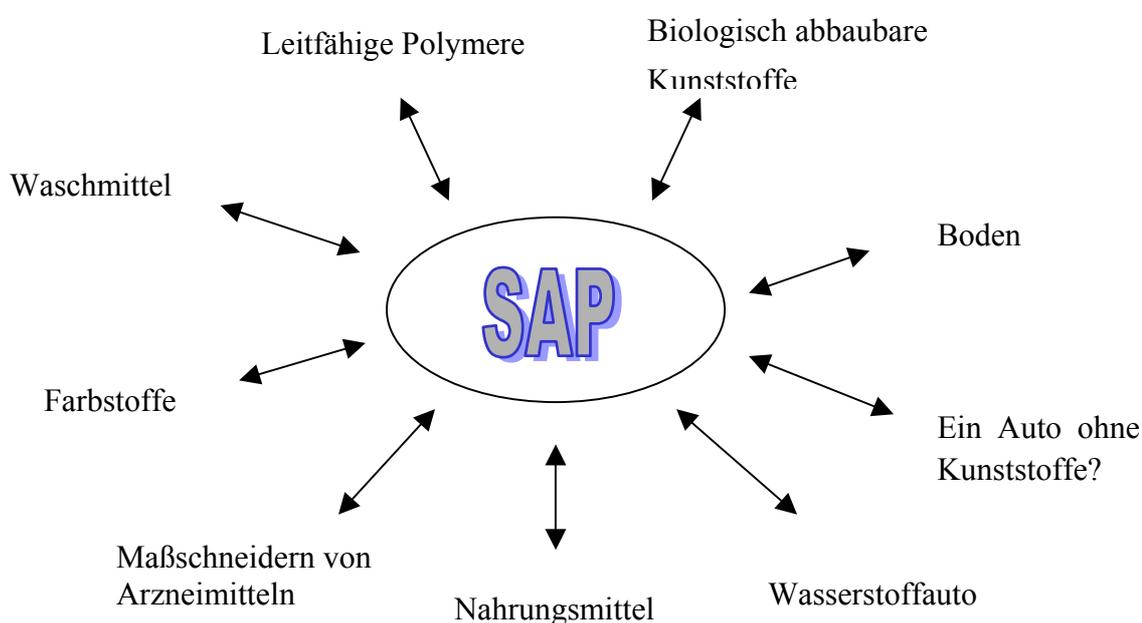
Zu dem Themenkreis der Farbstoffe gibt es unterschiedliche Möglichkeiten der vertikalen Vernetzung: Zum einem kann über die Substanz Polyacrylsäure leicht eine Verknüpfung zu Acrylfarben hergestellt werden. Dies gelingt aber auch, wenn sich für die Schüler und Schülerinnen bei der Synthese von superabsorbierenden Polymeren die Frage nach dem Anfärben der Polymere stellt. Hier braucht man z.B. für ein gelungenes und andauerndes Färbeergebnis Grundkenntnisse über anionische und kationische Farbstoffe.

Ausgehend von der umfangreichen Palette der kommerziellen Anwendungsmöglichkeiten der SAP existieren vielfältige vertikale Anknüpfungsmöglichkeiten zu anderen Kontexten, über die Nutzung als Bodenverbesserer hin zu dem Kontext „Boden“ oder durch die Verwendung der SAP als „drug-delivery“-Systeme zu den maßgeschneiderten Medikamenten.

¹⁵⁷Huntemann et al., 2000a und b

Polycarboxylate werden in Waschmitteln als Kalkenthärter eingesetzt. Auch hier kann die gleiche chemische Reaktion wie bei den SAP, nämlich die Bindung von zweiwertigen Calciumionen, für eine vertikale Vernetzung zum Kontext „Waschmittel“ herangezogen werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Vielfalt der Verknüpfungsmöglichkeiten vom Lernzyklus der SAP:



Eine ganz andere Möglichkeit zur Vertiefung der Polymerchemie-Inhalte ist die Benutzung eines Internet-Angebotes, wie es zurzeit auf der *homepage* der Didaktik der Chemie der FU Berlin eingerichtet wird. Es ist in Zusammenarbeit mit zwei Studenten innerhalb eines Seminars konzipiert und erstellt worden. Vier Beispiele der Struktur dieses Angebots sind im Anhang ausgedruckt. Es behandelt das Thema Polymerchemie ausgehend vom Kontext „Kunststoffe in der Kleidung“. Die Benutzung dieses Angebotes erfolgt interaktiv, d.h. der Weg durch den Lehrgang hängt von den Interessen der jeweiligen Person ab. Das Thema wird auf fünf thematisch gegliederten

und farblich abgesetzten Ebenen behandelt, die verschiedene Aspekte der makromolekularen Chemie beleuchten:

Kunststoffe zum Kennenlernen

Dies ist der Startbereich. Ein optisch ansprechender Text zählt die unterschiedlichen, in der Textilindustrie verwendeten Materialien auf und gibt Beispiele für Kleidungsstücke, in denen diese verwendet werden. Diese sind jeweils mit Hyperlinks versehen, die auf die entsprechenden Seiten weiterleiten.

Kunststoffe im Alltag

Hier werden anwendungsbezogene Beispiele wie Kevlar[®] u. a. vorgestellt.

Eigenschaften von Kunststoffen

Hier werden grundlegende Eigenschaften von Kunststoffen wie Thermo- bzw. Duroplastizität, Taktizität und ähnliches erläutert.

Herstellung von Kunststoffen

Dieser Bereich beschäftigt sich mit den unterschiedlichen Synthesemöglichkeiten von Polymeren.

Sonstiges

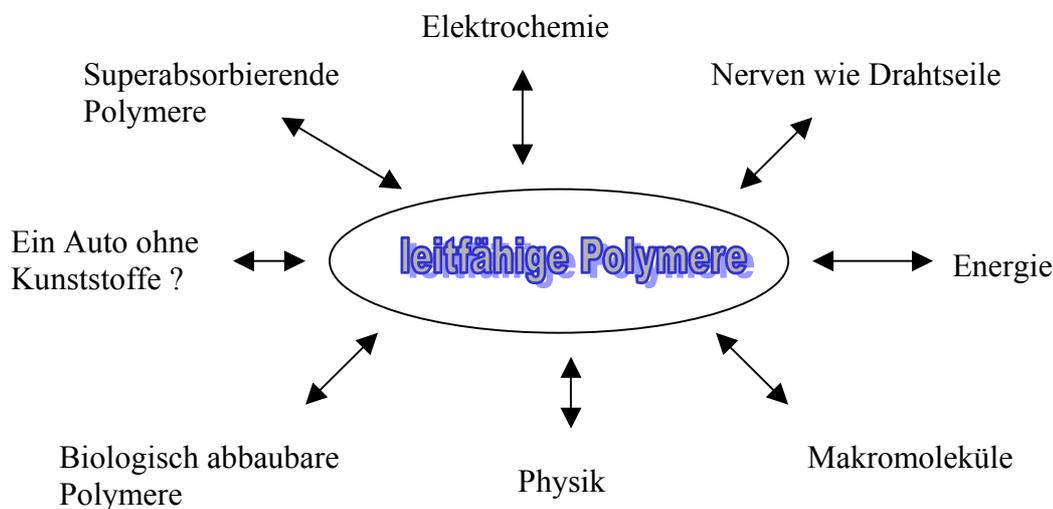
Hier ist Raum für weitere kontextbezogene Exkurse. So wurde z.B. eine Seite zur Entwicklungsgeschichte von Kevlar[®] erstellt.

Dieses Angebot kann mehreren Zwecken dienen. Zum einen könnte man die Schülerinnen und Schüler mit konkreten Aufgaben in der entsprechenden Lernumgebung betrauen, die z.B. in der Identifizierung der getragenen Kleidung bestehen. Andererseits ist das Internet-Angebot optisch so ansprechend, dass auch ein freies „Herumstöbern“ auf den Seiten zu engagiertem Lernen führen könnte. Zudem gibt es einige Hyperlinks, die auf weitere Seiten im Internet verweisen. Somit können die Seiten auch als Einstieg in eine Internetrecherche genutzt werden.

Das Angebot eignet sich sowohl zur Vertiefung als auch zur Strukturierung, denn das Thema makromolekulare Chemie wird (auch) in seiner fachwissenschaftlichen Struktur dargeboten und kann so als zusätzliches Arbeitsmaterial oder Nachschlagewerk benutzt werden. So könnte man konkret bei der Synthese von superabsorbierenden Polymeren das Verfahren der Copolymerisation nachschlagen lassen (im Anhang ist diese Seiten aufgeführt).

Die genannten Internetseiten werden demnächst von der Internetseite der Didaktik der Chemie¹⁵⁸ aus erreichbar sein, so dass sie auch für Schülerinnen und Schüler frei zugänglich sind. Die Konzeption „Chemie im Kontext“ fordert ja gerade den sinnvollen Einsatz der „neuen Medien“ und so stellt dieses Internet-Angebot eine zusätzliche methodische und mediale Bereicherung dar.

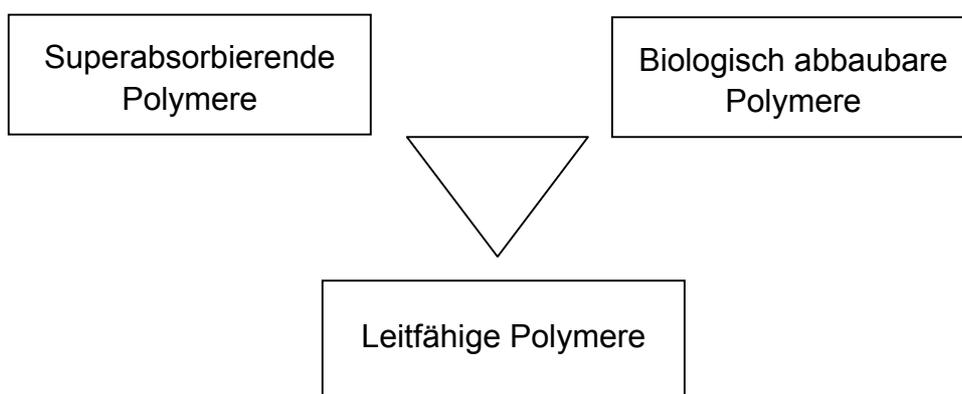
Auch zum Lernzyklus der leitfähigen Polymere gibt es zahlreiche Vernetzungen horizontaler und vertikaler Art, wie es die Konzeption „Chemie im Kontext“ vorsieht:



Die Zusammenhänge zu verwandten Kontexten wie den biologisch abbaubaren oder superabsorbierenden Polymeren liegen auf der Hand und wurden bereits oben beschrieben. Der Lernzyklus „Leitfähige Polymere“ besitzt zudem außer den vertikalen

¹⁵⁸ <http://www.chemie.fu-berlin.de/fb/fachdid/index.html>

Vernetzungsmöglichkeiten zu anderen Polymereinheiten auch vielfältige fächerübergreifende Bezüge zur Physik (Leitfähigkeit, elektrischer Strom, Energie). Darüber hinaus ergeben sich Schnittstellen zu Kontexten aus dem Bereich der Elektrochemie (Elektrochemische Elemente wie Akkumulatoren etc.). Zusammenfassend ist zu sagen, dass man sich den Gesamtkontext „Kunststoffe nach Maß“ aus den drei hier dargestellten Lernzyklen wie folgt zusammengesetzt vorstellen kann:



Zu den biologisch abbaubaren Kunststoffen ist bereits ein der Konzeption entsprechendes Konstrukt mit Materialien und Experimentvorschlägen veröffentlicht¹⁵⁹, zu den anderen beiden Lernzyklen wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Lernumgebung, die den Ansprüchen von „Chemie im Kontext“ genügt, skizziert. Die horizontalen und vertikalen Vernetzungsmöglichkeiten wurden ebenfalls aufgezeigt.

¹⁵⁹ Huntemann, H. & Parchmann, I., 2000b

7 Evaluation durch Beobachtung

Innerhalb der Konzeption „*Chemie im Kontext*“ sind bereits verschiedene Lernzyklen entwickelt worden. Allerdings steht bei den meisten Zyklen eine Evaluation noch aus. Erste Ergebnisse sind bei Huntemann et al.¹⁶⁰ veröffentlicht worden. So ist es ein Ziel dieser Arbeit, nicht nur Material, Experimente, Methoden und eine entsprechende Lernumgebung für Lernzyklen zu konzipieren, sondern diese auch bei der unterrichtlichen Umsetzung im realen Schulalltag zu evaluieren. Die Evaluation im Rahmen dieser Arbeit muss sich aufgrund der Komplexität auf den Lernzyklus über die superabsorbierenden Polymere beschränken.

Als erstes Element der Evaluation sollen die Ergebnisse der Beobachtung des durchgeführten Unterrichts dargestellt werden. Ergänzt werden diese durch die Äußerungen der betreuenden Lehrpersonen, die direkt nach Durchführung des kompletten Lernzyklusses befragt wurden. Diese Äußerungen wurden in Notizen festgehalten.

Aus Gründen der Praktikabilität ist es kaum möglich, nach einem Unterricht die Schüler und Schülerinnen z.B. in Einzelinterviews zu befragen. Um die vielfältigen Aspekte der Zielsetzungen ökonomisch zu bewältigen, fiel die Entscheidung auf Fragebögen als geeignetes Instrumentarium, auch weil hierbei der Forderung nach Unabhängigkeit des Ergebnisses von der Erhebungsperson (Objektivität) und dementsprechend der Reproduzierbarkeit des Ergebnisses am besten Rechnung getragen wird. Im Sinne einer methodischen Triangulation werden die quantitativen Fragebogenuntersuchungen durch eine qualitative Methode, die Gruppendiskussion, ergänzt, um weitergehende kognitive Vorgänge zu erfassen.

Der konzipierte Lernzyklus wurde im Herbst 2000 an zwei Berliner Gymnasien in einem Grund- und Leistungskurs erprobt (Gruppe I und II). In diesen Gruppen wurde anschließend der Unterricht mittels Fragebögen und Gruppendiskussion evaluiert. Daher wird in diesem Kapitel eine genauere Beschreibung der Lerngruppen und der

¹⁶⁰ Huntemann & Haarmann & Parchmann, 2000, S. 132

vorausgegangenen Unterrichtsversuche für Vortests angegeben. Zusätzlich wurde in einem Nachmittagskurs an der Universität zur gleichen Zeit ebenfalls ein Lernzyklus über superabsorbierende Polymere durchgeführt (im Folgenden Gruppe III).

7.1 Ergebnisse der Unterrichtsbeobachtung zum Lernzyklus SAP

Der Unterricht in allen Gruppen wurde mit einer Digitalkamera gefilmt. Die folgende Beschreibung beruht auf Beobachtungsnotizen und der Auswertung des Filmmaterials.

Der Einstieg mittels des aus dem Internet übersetzten Zeitungsartikels¹⁶¹ „Ein Lebensretter aus stinkenden Windeln“ zeigte bei allen Gruppen den gewünschten Erfolg: Die Schülerinnen und Schüler waren erstaunt über die Tatsache, dass ausgerechnet die feuchten Windeln den Brand überstanden haben sollten. Beeindruckt schienen sie auch von der Echtheit der Story. Spontane Ideen wurden von einigen wenigen Schülern geäußert, ansonsten wurde (kichernd) nach Windeln zum Untersuchen gefragt. Nach Austeilen dieser wurde sofort „losexperimentiert“. In Gruppe III wurden mit Scheren sorgfältig Rechtecke aus den Windeln geschnitten.



Eine Schülerin verlangte eine Lupe. Die Windelschnipsel wurden zum Teil trocken, zum Teil angefeuchtet über einem Brenner erhitzt. Eine Gruppe untersuchte die einzelnen Schichten separat auf Brennbarkeit im trocknen und feuchten Zustand.

¹⁶¹ In keiner Gruppe war die Nutzung des Internets aus organisatorischen Gründen zu diesem Zeitpunkt möglich.

In Gruppe II waren die meisten Schüler davon fasziniert, was passiert, wenn man Wasser auf die Windel gibt. Sie bemerkten beim Aufschneiden das entstandene Gel, gaben mehr Wasser dazu und wollten herausbekommen, wie viel Wasser so eine Windel fassen kann. Der Unterricht in Gruppe I fand in einem Hörsaal statt. Daher waren die Schüler und Schülerinnen zuerst sehr zurückhaltend beim Einsatz von Wasser und Brenner. Ein Schüler allerdings benutzte gleich an seinem Platz ein Feuerzeug, um die nasse Windel anzuzünden.

Sämtliche Schülerinnen und Schüler waren in dieser Begegnungsphase engagiert damit beschäftigt, herauszufinden, warum diese Windeln nicht brennen würden. Eine zufällig anwesende Gruppe von chilenischen Chemielehrern, die dem Unterricht der Gruppe II beiwohnte, äußerte genau dies als eine hervorstechende Beobachtung, die sie überrascht hatte. Sie hätten nicht erwartet, dass sich Oberstufenschüler und –schülerinnen so intensiv mit Windeln beschäftigen würden.

So gab es für die Schülerinnen und Schüler aller Gruppen keine Schwierigkeiten herauszufinden, welche Komponente für die Unbrennbarkeit verantwortlich war. Ohne besondere Aufforderung versuchten sie, die weißen „Kügelchen“ aus den Windeln zu isolieren. Auch die Sammlung der Leitfragen verlief in allen drei Gruppen ähnlich, es wurden die erwarteten Fragen formuliert. Unterschiedlich fielen allerdings die Vorschläge für die Experimente aus. Es kristallisierten sich einige Versuche heraus, die in allen Gruppen vorgeschlagen wurden. Hierbei handelte es sich um Reaktionen mit Alkohol, Salzen, Säuren und Laugen.

In Gruppe II wollte außerdem ein Schüler das vermeintliche Salz mit Natrium und Chlorgas reagieren lassen. Da es sich hierbei um einen schwachen Schüler handelte, war es sinnvoll, den Vorschlag umzusetzen, um seine Motivation nicht zu gefährden. Ein weiterer Vorschlag bezog sich darauf zu untersuchen, ob es sich bei den SAP um einen Puffer handeln könnte. Die Idee entsprang aus dem Vorunterricht, bei dem anscheinend die Klasse Pufferlösungen untersucht hatte. In Gruppe I kam zudem der Vorschlag zu versuchen, ob die SAP auch andere Lösungsmittel absorbieren können wie z.B. Benzin. In Gruppe III wurde vorgeschlagen, den Stoff auf Leitfähigkeit hin zu untersuchen. Der Vorteil des Stationenlernens besteht auch darin, dass auf die Vorschläge der Schülerinnen und Schüler sehr flexibel eingegangen werden kann. Ein

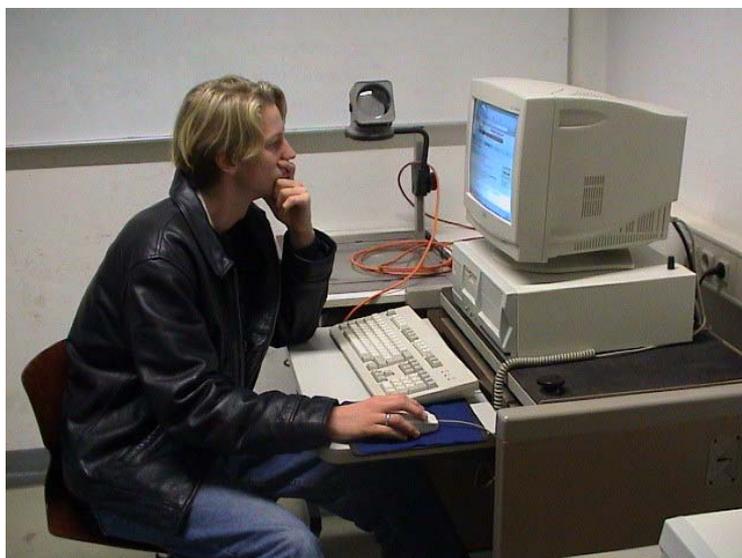
Grundstock an Versuchen ist vorhanden und kann auch bereits durch die Lehrperson vorbereitet werden, der Rest kann (häufig) relativ schnell ergänzt werden. So wurde z.B. für die nächste Stunde Chlorgas hergestellt und Natrium bereitgestellt und die Schüler, die das interessierte, konnten dies fakultativ bearbeiten. Die Versuche mit Chlor bzw. Natrium verliefen (erwartungsgemäß) negativ, aber der Schüler war zufrieden, dass er seine Idee hatte umsetzen können. Er bedankte sich sogar dafür, was zeigt, dass er dies nicht für selbstverständlich hielt.

Der „Pufferversuch“, der Versuch auf Leitfähigkeit und der Versuch über das Lösevermögen wurden ebenfalls in das Stationenlernen aufgenommen, anschließend auch wegen der Vergleichbarkeit für die anderen Gruppen angeboten. Hier gab es nur eine spärliche Anleitung, um den Schülern und Schülerinnen mehr Freiheit zu lassen. Diese schien allerdings bei den meisten nicht unbedingt willkommen, bei der offeneren Anleitung gab es vermehrt Nachfragen. Insgesamt bewältigten sämtliche Schüler und Schülerinnen in allen drei Gruppen die Stationen in der vorgegebenen Zeit. Es wurde deutlich, dass die Schülerinnen und Schüler sich aktiv bemühten, den Hintergründen der beobachteten Phänomene auf die Spur zu kommen. Der Aufforderungscharakter der angebotenen Lerninhalte schien eine fruchtbare Einheit von kognitiven, instrumentellen und affektiven Lernvorgängen zu erzielen.

Die Auswertungsphase wurde damit begonnen, die Ergebnisse zu erfragen und hinsichtlich der Fragestellung durch die Schüler und Schülerinnen auswerten zu lassen. Erst dann wurde als eine Art „Bestätigung“ ihrer Vermutungen der Arbeitsbogen



verteilt, den sie dann selbstständig bearbeiteten. Auch die Kontrollfragen stellten kein Problem dar. Mit Begeisterung wurde in Gruppe II ein Riesemolekülmodell zusammengebastelt, bei dem sich die Schüler und Schülerinnen auch gegenseitig korrigierten. Für die Schülerinnen und Schüler ergab sich folgerichtig aus den Leitfragen nun der Themenkomplex, wofür die Polymere denn noch genutzt werden. Das Rollenspiel wurde interessiert akzeptiert und die Schüler und Schülerinnen identifizierten sich relativ leicht mit ihrer Aufgabe, die Produkte zu untersuchen. Nur in Gruppe I war eine Zweiergruppe nicht ganz zufrieden mit ihrem Thema (Bau- und Landwirtschaft), sie lugten ab und zu zu den anderen Gruppen hinüber. Ansonsten zeigten sich alle anderen neugierig auf das Anwendungsspektrum in Bezug auf die Eigenschaften der superabsorbierenden Polymere. Nur in einer Schule war die Möglichkeit gegeben, im Internet über die Anwendungsbereiche zu recherchieren (Gruppe II). Dies wurde in Zusammenarbeit mit dem Informatiklehrer organisiert. Um dem Phänomen „lost in space“ vorzubeugen, war ein Informationsbogen mit hilfreichen Adressen vorbereitet, der auch von zwei Drittel der Schüler genutzt wurde. Zuvor hatten sie ihren Ehrgeiz reingesteckt, selbst etwas zu finden, was auch, allerdings mit sehr magerem Ergebnis, zutraf.



In den anderen beiden Gruppen stand ein Laptop mit bereits vorher aus dem Netz gezogenen Seiten zur Verfügung. Allgemein ist anzumerken, dass die meisten Schüler und Schülerinnen keine Hemmungen hatten, mit dem Computer zu arbeiten. Sie schienen eher interessiert, mit diesem Medium recherchieren zu können.

Die Präsentation der Ergebnisse, die jeweils in der nächsten Stunde stattfand, wurde von den allermeisten Gruppen sehr sorgfältig vorbereitet. Einige hatten sich dazu extra zu Hause getroffen und Folien vorbereitet. Es wurden auch durchaus kritische Stellungnahmen vorgebracht, z.B. was geschieht, wenn die SAP im Boden verbleiben. In diesem Zusammenhang wurde sogar gezielt nach Ökobilanzen gefragt. Die Dreiergruppe, die im Internet recherchiert hatte, gab auch einen Teil ihrer bei der Suche gesammelten Erfahrungen weiter: *„Zuerst habe ich nur SAP in die Suchmaschine eingegeben. Aber dann kamen nur Infos über eine Software.“*

Die Vertiefungsphase lief in den einzelnen Gruppen unterschiedlich ab. Der „Syntheseworkshop“ wurde in Gruppe I und III durchgeführt, in Gruppe II wurden statt dessen Plakate zu verschiedenen Themen der SAP erstellt.

Besonders in Gruppe I begegneten die Schülerinnen und Schüler der Ankündigung gespannt, jetzt als Forschergruppe SAP selbst herzustellen. Ohne Probleme konnten die Ausgangsstoffe identifiziert werden. Die Notwendigkeit zum Gebrauch eines Starters wurde kurz erläutert. Da die zu verwendeten Konzentrationen an Monomer, Crosslinker und Starter unbekannt waren, wurden Hypothesen aufgestellt, in welchem Verhältnis die Komponenten zusammen gegeben werden sollten und was bei verschiedenen Mischungsverhältnissen entstehen könnte. In beiden Gruppen war auch klar, dass dies über Quellversuche verifiziert werden könnte. Den theoretischen Ablauf der radikalischen Polymerisation konnten sich die Lernenden zu beliebiger Zeit während des Versuchsablaufes erarbeiten. Bei der Erarbeitung des Reaktionsmechanismus mit Hilfe des Arbeitsbogens zeigten die Schüler und Schülerinnen Ehrgeiz und Engagement, die Aufgaben wurden insgesamt gut gemeistert. Die Schülerinnen und Schüler erfassten sofort den Angriffsort der Startradikale $\cdot\text{OH}$ am Acrylsäuremolekül. Nur ein Schüler wollte daraufhin eine Substitution unter Wasserabspaltung stattfinden lassen, wurde von seiner Nachbarin jedoch sofort darauf hingewiesen, dass es sich hier um eine Additionsreaktion handeln müsse. Auch die während des Erarbeitens der Kettenverlängerungsreaktionen auftretende Zwischenfrage, ob nicht auch zwei Radikale miteinander reagieren könnten, zeigt, dass sich die Schüler und Schülerinnen aktiv für die Erarbeitung des Mechanismus interessierten.

Der Ansatz der Polymerisationsreaktion bereitete den Schülerinnen und Schülern in beiden Gruppen keine Schwierigkeiten. Er war auch im vorgesehenen Zeitrahmen von 10 Minuten gut durchführbar und bei allen Gruppen erfolgreich. Bei der sich anschließenden praktischen Durchführung der Neutralisationsreaktion, bei der die Schülerinnen und Schüler das Polymer in der Natronlauge zerkleinern mussten, bewiesen sie Geschick und Durchhaltevermögen, aber auch Erfindungsreichtum, da das mit viel Starter synthetisierte Produkt aufgrund seiner „fädenziehenden“ Eigenschaften nicht leicht mit Hilfe von Pinzetten zu zerkleinern war. Die Schülerinnen fanden daraufhin selbstständig eine Technik, dies für sie einfacher zu handhaben, indem eine Schülerin einen Faden auseinander zog und eine andere diesen mit einer Schere zerschnitt. Dies ist ein Indiz für die kognitive Beteiligung an der Versuchsdurchführung und zeugt zum anderen auch von Team- und Kooperationsfähigkeit.



Die weiteren Schritte bis hin zum Trocknen bereiteten den Schülerinnen und Schülern keine Schwierigkeiten. Merklich war die Spannung, mit der sie ihre Hypothesen durch die anschließenden Quellversuche hinsichtlich der Eigenschaften überprüfen wollten. Durch das arbeitsteilige Verfahren zeigten die Lernenden auch Neugier, wie es in den anderen „Forschergruppen“ verlaufen war. Der Vergleich der polymerisierten Acrylsäure und der mit unterschiedlichen Konzentrationen synthetisierten Natriumpolyacrylate war für sie ein überzeugender Beweis. Abschließend soll ein Kommentar die Einschätzung von einer Schülerin angeben: *„Es macht sehr viel Spaß, so etwas mal selbst herzustellen. Wenn man das dann selbst produziert, geht man auch ganz anders damit um.“*

7.2 Beurteilung durch die Lehrer und Lehrerinnen

Auch die Lehrer und Lehrerinnen wurden nach der Unterrichtsdurchführung befragt, wie sie die Experimente und die Unterrichtseinheit beurteilen. Dazu wurden Notizen gemacht. Die an dem Versuch Teilnehmenden sind sämtlich engagierte Lehrende, die auch regelmäßig Fortbildungsveranstaltungen besuchen, darunter eine Schulleiterin und zwei Fachseminarleiter. Sie äußerten sich alle sehr positiv über das Konzept „Chemie im Kontext“, gaben allerdings auch Bedenken zu Protokoll:

„Es wird schwierig sein, für alle Unterrichtsinhalte tragfähige Kontexte zu finden“ oder *„die Selbsttätigkeit der Schüler finde ich grundsätzlich positiv. Allerdings sehe ich Schwierigkeiten in der Vorbereitung der Schüler, ob man das mit einem zum Teil einstündigen Fach allein leisten kann?“*¹⁶² Aber gerade durch den hohen Anteil an Phasen, in denen die Schülerinnen und Schüler selbstständig arbeiten konnten, kamen auch für die Lehrer überraschende Ergebnisse zutage. In der Gruppe I waren dies die beiden folgenden Beobachtungen:

„Mich haben insbesondere zwei Sachen beeindruckt. Zum ersten hat doch anscheinend Louise ihre Scheu vor dem Computer etwas verloren, als sie über die Anwendungsprodukte recherchieren sollte. Bisher war sie – wohl aufgrund ihrer Erziehung - immer sehr ablehnend gegenüber allen technischen Medien.“ Und *„...ich war total verblüfft, als ich gesehen habe, wie Robert, der sonst eher so larifari erklärt, so präzise und selbstverständlich die chemischen Hintergründe des Quellvorgangs beschrieben hat. Das hätte ich ihm gar nicht zugetraut.“*

Auch zu den einzelnen Experimenten gab es ausführliche Kommentare. Übereinstimmend wurde der meist geringe Aufwand für den vorbereitenden Lehrer, die einfachen Gerätschaften und die Ungefährlichkeit gelobt. Methodischen Varianten gegenüber waren alle aufgeschlossen und es gab dabei kaum Probleme bei der Umsetzung: *„Die Vorbereitung ist dabei konzentrierter, aber dafür ist man als Lehrer, während die Schüler arbeiten, entlastet.“* *„Aber schwierig wird es, wenn die*

¹⁶² In Berlin wird Chemie in der achten Klasse nur einstündig unterrichtet.

Materialien für die Stationen über einen längeren zeitlichen Rahmen zusammenbleiben müssen, dafür ist in unserer Sammlung kaum Platz.“

Inhaltlich wurde in allen Fällen die gut sichtbaren Zusammenhänge zwischen chemischer Struktur und den resultierenden Eigenschaften bemerkt. Zudem fiel auch der mögliche Einsatz von industriellen Produkten aus SAP positiv auf: *„Toll, dass man die Möglichkeit hat, endlich mal positiv besetzte und für Schüler interessante chemische Produkte im Unterricht zu zeigen“.*

Positiv erscheinen auch die fächerübergreifenden Aspekte: *„Inhaltlich finde ich das Thema Diffusion und Osmose hier gut angebracht. Die Diffusion wurde und wird im Bereich der Teilchenvorstellungen in der SI angesprochen und verschwindet (...) . Die Osmose war und ist vorzüglich ein Thema der Biologie. Aus diesen Gründen habe ich diese Themen in der Chemie immer stiefmütterlich behandelt, weil sie nur an einer Stelle auftraten und keine weitreichende Bedeutung hatten. ... Durch diese Polymere wird eine neue Anwendung im Bereich der Schulchemie eröffnet, so dass für mich eine Motivation, diese Thematik in der SI wieder stärker zu bearbeiten, gegeben ist.“*

In diesem Zusammenhang erscheint auch einem Lehrer ein anderer Aspekt, nämlich der des „intelligenten Übens“ aufgrund der vielen Bezüge zu zuvor erarbeiteten Inhalten, hervorhebenswert: *„Da ich im Augenblick ... viele Referendare mit der Kombination Mathematik hatte und habe, haben wir des öfteren den Übungsmoment, der in der Mathematik einen hohen Stellenwert auch in der zeitlichen Dimension hat, diskutiert und festgestellt, dass der in der Chemie nicht so gegeben ist. Ein Beispiel für Wiederholung, die nicht pures Abfragen ist, strebe ich nach Möglichkeit im Auswertungsbereich an und habe dieses auch hier getan.“* Beide Zitate können dahingehend gewertet werden, dass eine horizontale und vertikale Vernetzung gelungen ist.

8 Evaluation durch Fragebögen

Mit der Untersuchung wurden zwei Ziele verfolgt: Es sollten zum ersten Fragebögen entwickelt werden, mit denen einzelne Experimente und gesamte Unterrichtsreihen hinsichtlich diverser Faktoren (speziell auch auf die Konzeption „Chemie im Kontext“ bezogen) beurteilt werden können. Diese Fragebögen sollen als Grundlage für weitere Evaluationen von Lernzyklen innerhalb der Konzeption dienen. Zum zweiten sollten die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Experimente und die konzipierte Unterrichtsreihe zu superabsorbierenden Polymeren mittels dieser Fragebögen durch Schülerinnen und Schüler evaluiert werden.

Im Hinblick auf die Unterrichtsreihe wurden folgende Hypothesen per Fragebogen evaluiert:

- Die Schüler und Schülerinnen zeigen Interesse am Thema superabsorbierende Polymere und messen ihm persönliche und gesellschaftliche Bedeutung bei.
- Der Unterrichtsreihe basiert auf der Konzeption „Chemie im Kontext“. Dementsprechend werden die dieser Konzeption zugrunde liegenden Hypothesen erfüllt, z. B. dass die Schüler und Schülerinnen den Unterricht als besonders motivierend empfinden, weil er im Alltagskontext verankert ist, vielfältige Unterrichtsformen mit einem hohen Maß an Eigentätigkeit und Kommunikationsmöglichkeiten aufweist und die Lehrperson als Moderator und Lernberater auftritt.
- Insbesondere die Gruppenarbeitsphase samt Präsentation der Gruppenergebnisse findet bei den Schüler und Schülerinnen Zustimmung.
- Mädchen und Jungen werden von der Unterrichtsreihe gleichermaßen angesprochen.

Da quantitative Methoden bei so geringen Probandenzahlen wie Schüler und Schülerinnen von Schulklassen immer nur ein begrenztes Aussagevermögen besitzen, sollte ein qualitatives Verfahren die Aussagen überprüfen bzw. ergänzen. In diesem Fall fiel die Entscheidung auf die Gruppendiskussion als anzuwendende Methode. Die Hauptkriterien für die Eignung der Gruppendiskussion wurden bei den Untersuchungen

erfüllt: Die Schülergruppen bestehen in dieser Zusammensetzung auch im Alltag als „Realgruppe“¹⁶³ und gehören als Schüler und Schülerinnen des Leistungs- bzw. Grundkurses einer größeren sozialen Gruppe (Oberstufe, Schule etc.) an. Die befragten Gruppen besaßen auch die nach Mayring ideale Gruppengröße zwischen fünf und fünfzehn Mitgliedern. Zudem spielt es beim Forschungsansatz auch keine Rolle, ob man eine Meinung einem Einzelnen oder einer Gruppe zuordnen kann. Da Fragebögen ein weit verbreitetes Instrumentarium in der fachdidaktischen Forschung darstellen, wird auf eine ausführliche Darstellung der Methode mit Vor- und Nachteilen verzichtet. Im Falle der Gruppendiskussion als methodische Variante existiert allerdings bisher nur eine Arbeit im chemiedidaktischen Bereich¹⁶⁴, so dass dem Untersuchungsdesign eine allgemeine Beschreibung der Methode vorangestellt wird.

8.1 Vortests

Während der Entwicklungsphase der Unterrichtseinheit wurden Vortests durchgeführt, um die entwickelten Experimente und Fragebögen auf ihre Tauglichkeit hin zu überprüfen und zu verbessern. Es gab insgesamt drei Voruntersuchungen. Auch hier entstand der Kontakt zu den betreuenden Lehrern und Lehrerinnen – wie auch bei der Hauptuntersuchung - durch Fortbildungskurse. An der ersten Voruntersuchung waren im Januar 2000 drei Berliner Schüler und vier Schülerinnen im Alter von 17 bis 19 Jahren eines Grundkurses Chemie beteiligt. Nach der Unterrichtsreihe wurde per Fragebogen erhoben,

- welche Inhalte vorkamen,
- welche Inhalte die Schülerinnen und Schüler lieber ausführlicher bzw. kürzer behandelt hätten,
- ob die Unterrichtsreihe für ihr Leben von Bedeutung ist,
- welche Themenaspekte und welche Experimente sie besonders spannend fanden,
- wie sie den Abstraktionsgrad, den Lernzuwachs, den Alltagsbezug und die motivierende Wirkung des Themas beurteilen,
- wie sie sich außerhalb des Unterrichts mit dem Thema SAP beschäftigt haben,
- wie sie das Unterrichtsmaterial beurteilen,
- wie sie die Experimente bewerten,
- wie sie die Gruppenarbeitsphase samt Ergebnispräsentation beurteilen.

¹⁶³ Forderungen von Nießen, 1997 und Mayring, 1996

¹⁶⁴ Eybe, 1999

Zusätzlich waren fachliche Fragen zum Bereich Makromoleküle zu beantworten. Die Auswertung der Antworten zu den fachlich orientierten Fragen und zum Unterrichtsmaterial ergab wenig aussagekräftige Ergebnisse, so dass diese Fragen gestrichen wurden, während die übrigen Fragenkomplexe beibehalten und z. T. weiterentwickelt wurden.

Die zweite Voruntersuchung wurde im September 2000 mit sieben Schülern und fünf Schülerinnen im Alter von 17 bis 19 Jahren in Ladenburg/Baden-Württemberg (Leistungskurs Chemie) durchgeführt. Nach Durchführung der Unterrichtsreihe wurden die Experimente insgesamt mittels eines Fragebogens genauer evaluiert. Folgende Aspekte der Experimente wurden beurteilt:

- affektive Einstellung zum Experimentieren
- Anschaulichkeit der Phänomene
- Fachlicher Gehalt
- Komplexität
- Motivierende Wirkung
- Subjektiv empfundene Gefährlichkeit
- Quantität
- Klärende Wirkung
- Einbeziehen verschiedener Sinne
- Qualität der Versuchsanleitung

Die Analyse zeigte, dass sich die Anordnung der Fragen, die Formulierung der einzelnen Items bewährt hat und so wurde dieser Fragebogen praktisch unverändert beibehalten und in den nachfolgenden Untersuchungen eingesetzt.

Die dritte Voruntersuchung wurde im Zeitraum September 2000 bis Oktober 2000 mit zehn Berliner Schülerinnen (nur Mädchen) im Alter von 15 bis 16 Jahren im Rahmen eines Experimentierkurses an der FU Berlin durchgeführt. Jedes einzelne der fünf Experimente wurde per Fragebogen genau evaluiert (die Aspekte sind bei der zweiten Voruntersuchung aufgelistet), und zusätzlich wurde mittels eines weiteren Fragebogens die komplette Unterrichtseinheit beurteilt. Diesen Fragebogen füllten nur fünf Schülerinnen aus. Beide Fragebögen konnten unverändert beibehalten werden, da die Schülerinnen gut mit dem Umfang und der Ausdrucksweise zurechtkamen.

8.2 Stichprobe und Methoden der Hauptuntersuchung

Die Stichprobe bestand aus 26 Schülerinnen und Schüler (12 Mädchen und 14 Jungen) im Alter von 18 bis 20 Jahren, mit denen die Unterrichtsreihe in zwei Berliner Gymnasien (Grund- und Leistungskurs) bzw. als Experimentierkurs an der Universität mit der gleichen Altersgruppe durchgeführt wurde. Die Schulgruppen wurden durch die Lehrenden ausgewählt. Der Kontakt zu den Lehrpersonen kam durch Lehrerfortbildungsveranstaltungen zustande. Die Schülerinnen kamen aus Interesse aus verschiedenen Berliner Gymnasien zu einem Nachmittagskurs an die Universität.

Tabelle 1: Zusammensetzung der Untersuchungsgruppe

| Anzahl Schülerinnen und Schüler | ♀ | ♂ |
|--|----|----|
| Gymnasium 1 | 6 | 7 |
| Gymnasium 2 | 1 | 7 |
| Experimentierkurs an der Uni | 5 | 0 |
| gesamt | 12 | 14 |

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich für alle Gruppen von Oktober bis Dezember 2000.

8.3 Fragebogen zu einzelnen Experimenten

Der „Fragebogen zu den Experimenten“ richtete sich an Schülerinnen und Schüler, die unmittelbar vorher ein Schülerexperiment durchgeführt hatten. Zehn Faktoren wurden an Hand von je einem Set à drei bis acht Items erhoben. Jedes Item war auf einer fünfteiligen Skala durch Ankreuzen zu bewerten: „stimmt gar nicht“ (1), „stimmt eher nicht“ (2), „teils/teils“ (3), „stimmt eher“ (4), „stimmt völlig“ (5). Die Faktoren waren:

- Affektive Einstellung zum Experimentieren („ich habe gern experimentiert“, „mir hat das Experimentieren gefallen“ u. a.)
- Anschaulichkeit der Phänomene („ich konnte gut beobachten, was passierte“, „was ich beobachtet habe, fand ich einprägsam“ u. a.)
- Fachlicher Gehalt („durch das Experimentieren habe ich etwas Neues gelernt“, „die Experimente passten zum Unterrichtsthema“ u. a.)

- Komplexität („die Experimente waren sehr kompliziert“, „die Experimente waren einfach zu verstehen“ u. a.)
- Motivierende Wirkung („durch das Experimentieren habe ich Lust bekommen, mehr über das Thema zu erfahren“, „das Experimentieren hat mich zum Nachdenken über das Thema angeregt“ u. a.)
- Subjektiv empfundene Gefährlichkeit („das Experimentieren war ungefährlich“, „der Umgang mit den Chemikalien war mir nicht geheuer“ u. a.)
- Quantität („das Experimentieren hat zu lange gedauert“, „die Experimentierphase fand ich zu knapp“ u. a.)
- Klärende Wirkung („das Experimentieren hat mich verwirrt“, „durch das Experimentieren verstehe ich das Thema besser“ u. a.)
- Einbezug verschiedener Sinne („es gab optisch etwas zu beobachten (sehen)“, „ich konnte riechen oder schmecken“ u. a.)
- Qualität der Versuchsanleitung („die Versuchsanleitung war gut verständlich“, „die Versuchsanleitung war vollständig“ u. a.)

Die Items wurden selbständig unter Einbeziehung von Handreichungen von Ralle und Eilks (Universität Dortmund), Parchmann (IPN Kiel) sowie früherer Arbeiten¹⁶⁵ konstruiert und zusammengestellt.

8.4 Fragebogen zur kompletten SAP-Unterrichtsreihe

Der „Fragebogen zur Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere“ richtete sich an Schüler und Schülerinnen, die diese Unterrichtsreihe gerade abgeschlossen hatten. Er gliederte sich im Wesentlichen in zwei Teile:

I Beurteilung der gesamten Unterrichtsreihe

II Beurteilung der Gruppenarbeitsphase

Im Teil 1 wurden zunächst sieben offene Fragen zu Inhalten, Quantität, Bedeutung und Interesse am Thema Superabsorbierende Polymere gestellt. Anschließend wurden neben den Faktoren Abstraktionsgrad („das Thema war sehr theoretisch“, „das Thema war sehr abstrakt“ u. a.), Interesse („ich möchte über dieses Thema gerne noch mehr

¹⁶⁵ Köhler-Krützfeldt, 2001b, S.132

erfahren“, „ich war neugierig, wie es in der nächsten Stunde weiterging“ u. a.) und Relevanz („dieses Thema ist für unsere Gesellschaft wichtig“, „es ist wichtig, dass dieses Thema in der Schule behandelt wird“ u. a.) ausgewählte Hypothesen aus dem zehnteiligen Katalog „Hypothesen zur Evaluation von Unterricht nach dem Chemie im Kontext Curriculum“¹⁶⁶ überprüft. Dazu waren drei bis fünf Items pro Faktor auf einer fünfteiligen Skala von „stimmt gar nicht“ (1) bis „stimmt völlig“ (5) durch Ankreuzen zu bewerten.

Die Hypothesen beinhalteten jeweils eine Prämisse. Beispielsweise lautet die erste Hypothese:

„Ein in lebensweltlichen und Alltagskontexten verankerter Unterricht wird von Schülerinnen und Schülern als besonders interessant und motivierend angesehen.“

Hier liegt also die Prämisse zu Grunde: „Der Unterricht war in lebensweltlichen und Alltagskontexten verankert.“ Daher wurde erhoben,

- a) ob die Schülerinnen und Schüler den Unterricht als im Alltagskontext verankert empfunden haben
- b) ob sie diesen Unterricht als besonders interessant und motivierend angesehen haben.

Auf diese Art wurden außer der Hypothese 1 auch Nr. 5, 6, 8 und 9 überprüft:

Hypothese 5: „Die Vielfalt der Unterrichtsformen und Unterrichtsmethoden sichert den Schülerinnen und Schülern einen besseren Zugang zu einem bestimmten Inhalt.“

Hypothese 6: „Die Vielfalt der Unterrichtsformen und Unterrichtsmethoden wird von Schülerinnen und Schülern als besonders interessant und motivierend angesehen.“

Hypothese 8: „Das hohe Maß an Eigentätigkeit, Eigenverantwortlichkeit sowie die damit verbundenen Kommunikationsmöglichkeiten werden von

¹⁶⁶ Internes Arbeitspapier von Ralle

Schülerinnen und Schülern als besonders interessant und motivierend angesehen.“

Hypothese 9: „Die Schüler akzeptieren die in „Chemie im Kontext“ vorgesehene Rolle der Lehrperson als Moderator und Lernberater.“

Dann wurde erfragt, wie sich die Schülerinnen und Schüler außerhalb der Schulstunden mit dem Thema beschäftigt hatten. Es waren mehrere Antwortmöglichkeiten vorgegeben („ich habe über bestimmte Aspekte weiter nachgedacht“, „ich habe mich mit anderen Leuten über dieses Thema unterhalten“ u. a.). Außerdem konnten eigene Antworten formuliert werden.

Im Teil II wurde zunächst in Form offener Fragen ermittelt, was den Schülerinnen und Schüler an der Gruppenarbeit gefallen bzw. gestört hatte. Dann wurden drei Faktoren bezüglich der Gruppenarbeit und fünf Faktoren bezüglich der Auswertungsphase an Hand von Sets zu jeweils drei bis fünf Items erhoben, die immer auf einer fünfteiligen Skala¹⁶⁷ von „stimmt gar nicht“ (1) bis „stimmt völlig“ (5) durch Ankreuzen bewertet wurden:

- Lernerfolg („während der Gruppenarbeit habe ich mehr gelernt als sonst“, „die Gruppenarbeit war nicht so erfolgreich“ u. a.)
- Zusammenarbeit („mit meiner Gruppe konnte ich gut zusammenarbeiten“, „es gab oft Reibereien“ u. a.)
- Klima („bei der Gruppenarbeit herrschte eine angenehme Atmosphäre“, „wir haben uns gut verstanden“ u. a.)
- Eigene Präsentation („es war leicht, den anderen unsere Ergebnisse vorzustellen“, „wir wussten nicht genau, worauf es bei der Präsentation ankam“ u. a.)
- Profit von anderen Präsentationen („ich habe die Erklärungen der anderen Gruppen gut verstanden“, „ich habe von den anderen Gruppen etwas gelernt“ u. a.)
- Kooperatives Verhalten während der Präsentation („die ZuhörerInnen haben gut mitgemacht“, „die Atmosphäre bei der Präsentation war nicht so berauschend“ u. a.)
- Selbstständigkeit während der Präsentation („die Ergebnispräsentation haben wir selbstständig hinbekommen“, „die Lehrperson musste oft eingreifen“ u. a.)
- Interesse an der Präsentation („die Auswertungsphase war spannend“, „die Ergebnispräsentation war langweilig“ u. a.)

¹⁶⁷ daher entfällt bei den jeweiligen Auswertung eine zusätzliche Information

Die Items zur Überprüfung der „Chemie im Kontext“- Hypothesen wurden selbst entwickelt. Für einen Teil der restlichen Items diente unveröffentlichtes Material von Ralle und Eilks (Universität Dortmund), von Parchmann (IPN Kiel) sowie frühere Arbeiten¹⁶⁸ als Anregung für die Konstruktion.

8.5 Statistische Methoden

Für die statistische Auswertung wurde das Programm SPSS, Version 10.0.7 (SPSS Inc., Chicago, Illinois), verwendet. Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit dem Programm Excel, Version 9.0.2812 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington).

8.6 Kategorisierung von frei formulierten Antworten

Die Antworten, die frei zu formulieren waren, wurden zur weiteren Auswertung von einer Person kategorisiert. Die Einteilung erfolgte nach inhaltlicher Übereinstimmung der Antworten. Die Anzahl der Kategorien stellte kein Kriterium dar. Diese Kategorisierung wurde von zwei weiteren Personen auf Einsichtigkeit überprüft.

Im Rahmen der Item-Analyse sollte geprüft werden, wie zuverlässig (reliabel) ein Faktor durch die Items des entsprechenden Sets ermittelt werden kann. Um die Reliabilität des Erhebungsinstruments abzuschätzen, wurde für jedes Variablen-Set die interne Konsistenz (berechnet über den Koeffizienten α nach L.J. Cronbach) bestimmt. Pro Set, also pro Faktor, wurde ein Mittelwert (arithmetisches Mittel) aus den einzelnen Variablen gebildet. Dabei lagen folgende Kriterien zu Grunde:

Einzelne Variablen wurden bei der Mittelwertbildung ausgeschlossen, wenn sich Cronbachs α dadurch erhöhte und mindestens drei Variablen übrig blieben.

Wenn Cronbachs α mindestens 0,70 betrug, wurde ein Mittelwert berechnet. Lag α darunter, so deutete dies auf mangelnde Korrelation der einzelnen Variablen hin (also auf eine niedrige interne Konsistenz) und auf die Bildung eines Mittelwerts wurde verzichtet.

¹⁶⁸ Köhler-Krützfeldt, 2000, S. 109

Sämtliche Variablen wurden mit dem t-Test für unabhängige Stichproben auf geschlechtsspezifische Unterschiede hin überprüft, sofern mindestens fünf Fälle pro Geschlecht vorhanden waren.

8.7 Reliabilitätsanalysen

Die Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen sind nachfolgend dargestellt. Zur Vereinheitlichung wurden die negativ formulierten Items rekodiert, d. h. die Werteskala wurde umgedreht, so dass hohe Werte stets eine hohe Zustimmung zum Faktor anzeigen. Beispiel: Kreuzte jemand beim Item „das Experimentieren war langweilig“ (gehört zum Faktor affektive Einstellung) „stimmt völlig“ (Wert 5) an, so wurde dieser Wert für die Auswertung durch den Wert 1 ersetzt.

*Tabelle 2: Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen für den Fragebogen zu den einzelnen Experimenten. Die Mittelwerte beruhen auf den **fett gedruckten** α -Werten.*

| Faktor | Anzahl Items | N | α | α bei Ausschluss einzelner Items |
|---|---------------------|----------|----------------------------|---|
| Affektive Einstellung | 4 | 67 | 0,79 | 0,84 (ohne Item 4: „Experimente machen mehr Spaß als Unterricht ohne Experimente“) |
| Anschaulichkeit der Phänomene | 3 | 69 | 0,62 | - |
| Fachlicher Gehalt | 4 | 68 | 0,50 | - |
| Komplexität | 4 | 70 | 0,68 | - |
| Motivierende Wirkung | 8 | 68 | 0,86 | 0,87 (ohne Item 5: „Ich fand das Experimentieren langweilig.“) |
| Subjektive Gefährlichkeit | 6 | 69 | 0,52 | 0,57 (ohne Item 3: „Man musste sehr vorsichtig sein, um sich und andere nicht in Gefahr zu bringen.“) |
| Quantität | 4 | 69 | 0,12 | 0,49 (ohne Item 4: „Die Experimentierphase fand ich zu knapp.“) |
| Klärende Wirkung | 4 | 70 | 0,63 | 0,67 (ohne Item 1: „Das Experimentieren hat mich verwirrt.“) |
| Einbeziehen verschiedener Sinne | 6 | 67 | 0,15 | <i>Mittelwert nicht sinnvoll</i> |
| Allgemeine Qualität der Versuchsanleitung | 4 | 30 | 0,90 | 0,91 (ohne Item 4: „Die Versuchsanleitung war vollständig.“) |

Im Fragebogen zu den einzelnen Experimenten lag Cronbachs α bei drei Faktoren über 0,70. Dementsprechend wurden drei Mittelwerte gebildet: affektive Einstellung, motivierende Wirkung und allgemeine Qualität der Versuchsanleitung. Dabei wurde aus den ursprünglichen Sets jeweils eine Variable ausgeschlossen, um Cronbachs α zu erhöhen. Die Reliabilität dieser drei Sets kann als gegeben betrachtet werden.¹⁶⁹ Die restlichen Sets erreichten α -Werte unter 0,70, die auch durch Ausschluss einzelner Items nicht hinreichend erhöht werden konnten. Die interne Konsistenz dieser Sets erscheint mithin fragwürdig, so dass auf die Bildung von Mittelwerten verzichtet wurde.

¹⁶⁹ In diesen drei Fällen ist auch die Reliabilität der ursprünglichen, kompletten Sets kaum niedriger ($\alpha = 0,79$ bis $0,90$).

Tabelle 3: Ergebnisse der Reliabilitätsanalysen für den Fragebogen zur kompletten Unterrichtsreihe. Die Mittelwerte beruhen auf den **fett gedruckten** α -Werten.

| Faktor | Anzahl Items | N | α | α bei Ausschluss einzelner Items |
|---|-----------------|----|-------------|--|
| Abstraktionsgrad | 4 | 20 | -0,17 | - |
| Interesse | 5 | 21 | 0,91 | - |
| Gesellschaftliche Bedeutung | 4 | 21 | 0,44 | 0,66 (ohne Item 1: „Dieses Thema ist für unsere Gesellschaft wichtig.“) |
| Alltagskontext - Empfindung (Prämisse von ChiK-Hypothese 1) | 3 | 21 | 0,74 | - |
| Alltagskontext - Interesse (ChiK- Hypothese 1) | 4 | 21 | 0,87 | - |
| Vielfalt der Unterrichtsformen - Empfindung (Prämisse von ChiK- Hypothesen 5+6) | 3 | 21 | 0,71 | 0,82 (ohne Item 1: „Es kamen verschiedene Unterrichtsformen zum Einsatz.“) |
| Vielfalt - Zugang und Interesse (ChiK-Hypothesen 5+6) | 5 | 21 | 0,77 | - |
| Eigentätigkeit und Kommunikation - Empfindung (Prämisse von ChiK-Hypothese 8) | 4 | 21 | 0,68 | 0,81 (ohne Item 4: „Beim eigenen Arbeiten haben wir untereinander Erfahrung und Wissen ausgetauscht.“) |
| Eigentätigkeit und Kommunikation - Interesse (ChiK-Hypothese 8) | 4 | 21 | 0,73 | - |
| Lehrperson als Lernberater - Empfindung (Prämisse von ChiK- Hypothese 9) | 5 | 21 | 0,79 | 0,83 (ohne Item 2: „Die Lehrperson hat uns ihr Wissen vermittelt, anstatt uns die Erarbeitung zu überlassen.“) |
| Lehrperson als Lernberater - Akzeptanz (ChiK-Hypothese 9) | 5 | 21 | 0,71 | 0,73 (ohne Item 4: „Mir ist es lieber, wenn die Lehrperson uns ihr Wissen weitergibt, anstatt uns beim Erarbeiten nur zu beraten.“) |

Gruppenarbeit

| | | | | |
|----------------|---|----|-------------|--|
| Lernerfolg | 3 | 20 | 0,73 | 0,78 (ohne Item 2: „Die Gruppenarbeit war nicht so erfolgreich.“) |
| Zusammenarbeit | 5 | 20 | 0,69 | 0,75 (ohne Item 2: „Ich finde es schwierig, etwas gemeinsam zu unternehmen.“) |
| Klima | 3 | 20 | 0,86 | 0,88 (ohne Item 3: „Wir haben uns gut verstanden.“) |

Präsentation der Gruppenergebnisse

| | | | | |
|-----------------------------------|---|----|-------------|---|
| Eigene Präsentation | 3 | 20 | 0,82 | 0,83 (ohne Item 1: „Es war leicht, den anderen unsere Ergebnisse vorzustellen.“) |
| Profit von anderen Präsentationen | 3 | 20 | 0,66 | 0,71 (ohne Item 3: „Die Ergebnisse der anderen Gruppen hätten besser aufbereitet und präsentiert werden müssen.“) |
| Kooperatives Verhalten | 3 | 20 | 0,66 | 0,73 (ohne Item 2: „Die Atmosphäre bei der Präsentation war nicht so berauschend.“) |
| Selbstständigkeit | 3 | 20 | 0,64 | 0,78 (ohne Item 3: „Die Lehrperson musste oft eingreifen.“) |
| Interesse | 3 | 20 | 0,73 | 0,74 (ohne Item 3: „Die Ergebnispräsentation war langweilig.“) |

Im Fragebogen zur kompletten Unterrichtsreihe lag Cronbachs α bei vierzehn Sets über 0,70. Es wurden also vierzehn Mittelwerte gebildet. Dabei wurde in vier Fällen die Reliabilität durch Ausschluss einzelner Items erhöht: Eigentätigkeit und Kommunikation – Empfindung, Lehrperson als Lernberater – Empfindung, Lehrperson als Lernberater – Akzeptanz. Bei drei Sets würde α durch Ausschluss einzelner Variablen zwar auf einen Wert über 0,70 angehoben, aber dann blieben weniger als drei Variablen pro Faktor übrig (Profit von anderen Präsentationen, kooperatives Verhalten, Selbstständigkeit). Daher wurde hier die Bildung von Mittelwerten unterlassen. Die Faktoren Abstraktionsgrad und gesellschaftliche Bedeutung blieben mangels hinreichender interner Konsistenz ebenfalls ohne Mittelwert.

Fazit: Die Reliabilitätsanalysen ergeben, dass im Fragebogen zu den einzelnen Experimenten drei Faktoren mit den entwickelten Variablensets zuverlässig erhoben werden können, während die interne Konsistenz von sechs Sets verbesserungswürdig

ist. Im Fragebogen zur kompletten Unterrichtsreihe weisen vierzehn von neunzehn Sets eine hinreichende Reliabilität auf. Bei einem erneuten Einsatz der Fragebögen wäre zu erwägen, die betreffenden Variablensets mit dem Ziel der Reliabilitätserhöhung zu überarbeiten.

8.8 Ergebnisse zu den entwickelten Experimenten

Affektive Einstellung und motivierende Wirkung

Affektive Einstellung

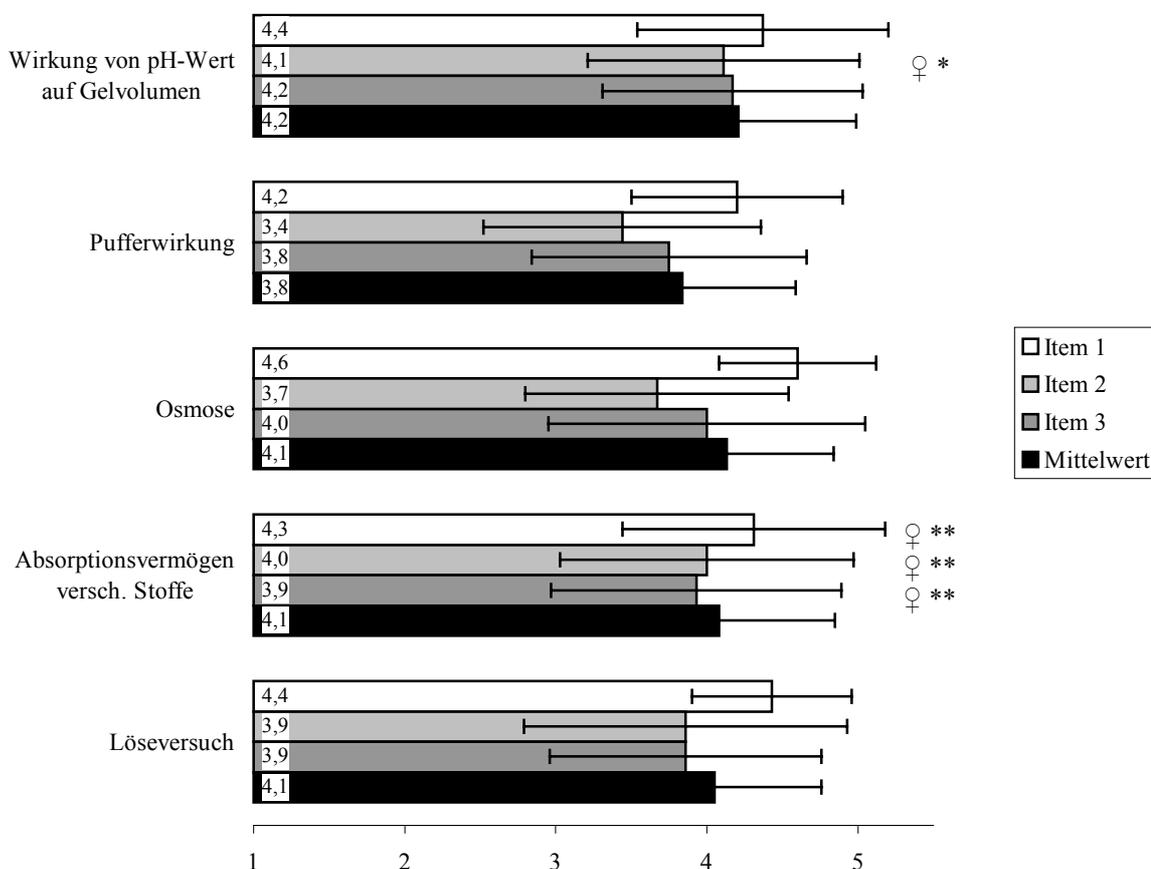


Abbildung 3 Affektive Einstellung zu den Experimenten (mit Standardabweichungen. ♀: Die Mädchen weisen einen höheren Wert als die Jungen auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: * $p \leq 0,1$; ** $p \leq 0,05$.

Item 1: „Ich habe gern experimentiert.“

Item 2: „Das Experimentieren war langweilig.“ (rekodiert)

Item 3: „Mir hat das Experimentieren gefallen.“

Die affektive Einstellung zum Experimentieren liegt überall im positiven Bereich. Die Mittelwerte erreichen bei sämtlichen Experimenten ungefähr den Wert 4 („stimmt eher“). Die größte Zustimmung fand das Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ (Mittelwert 4,2), die geringsten Werte sind beim Versuch „Pufferwirkung“ zu verzeichnen (Mittelwert 3,8). Drei Items weisen signifikante Geschlechtsunterschiede auf: Beim Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ stimmten die Mädchen dem Item 3 häufiger zu als die Jungen ($p \leq 0,1$). Gleiches gilt für Item 2 und für den Mittelwert beim Experiment „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ (jeweils $p \leq 0,05$). Die anderen Variablen zeigten keine Geschlechtsunterschiede.

Motivierende Wirkung

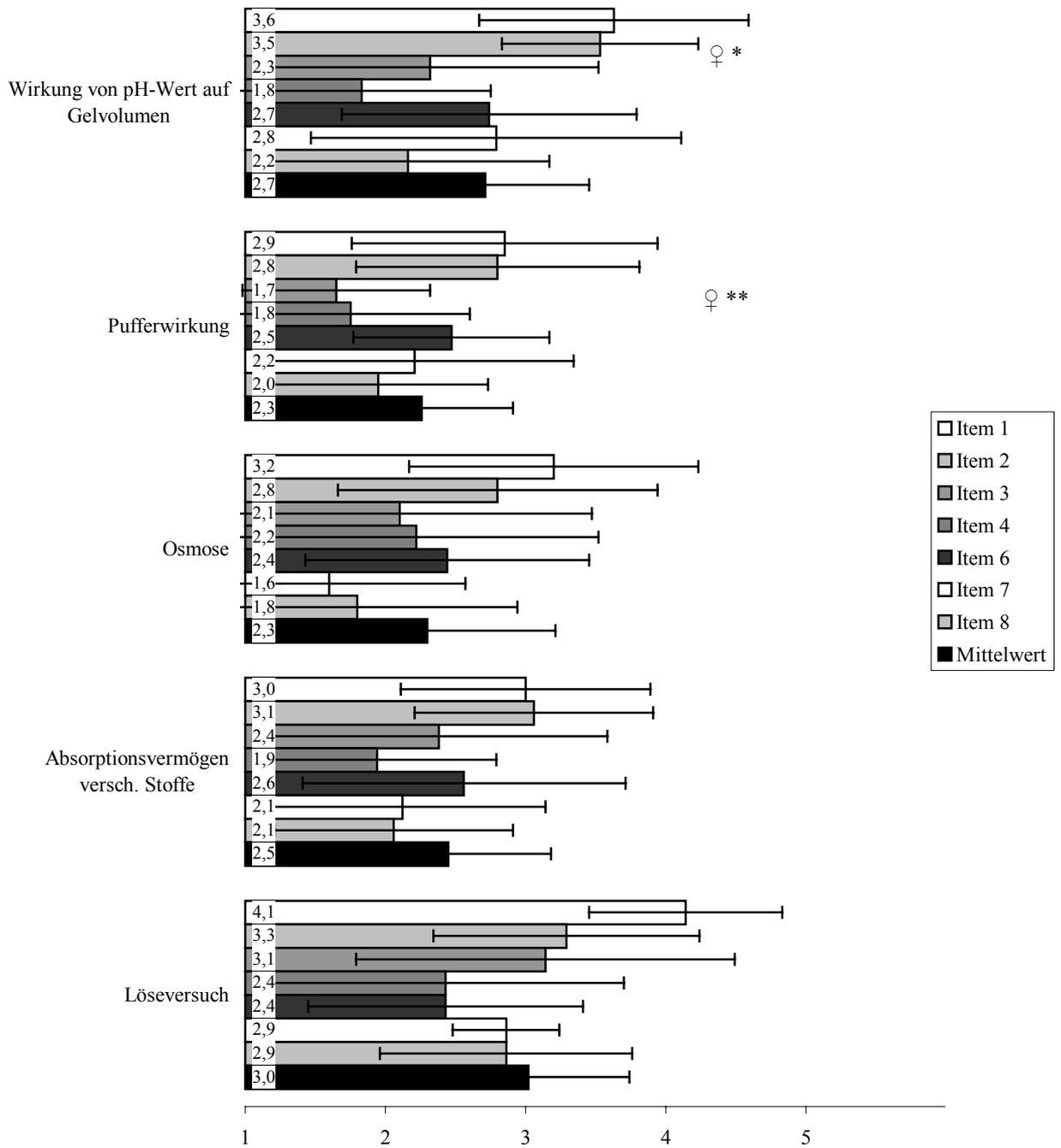


Abbildung 4: Motivierende Wirkung der Experimente (mit Standardabweichungen). ♀: Die Mädchen weisen einen höheren Wert als die Jungen auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: * $p \leq 0,1$; ** $p \leq 0,05$.

Item 1: „Durch das Experimentieren habe ich Lust bekommen, mehr über das Thema zu erfahren.“

Item 2: „Das Experimentieren hat mich zum Nachdenken über das Thema angeregt.“

Item 3: „Das Experimentieren hat mich dazu gebracht, dass ich mich in meiner Freizeit mit dem Thema beschäftigen möchte.“

Item 4: „Das Experimentieren hat mich motiviert, auch mal zu Hause zu experimentieren.“

Item 6: „Das Experimentieren hat mich angeregt, mit anderen über das Thema zu diskutieren.“

Item 7: „Durch das Experimentieren werde ich Berichte zu dem Thema in Zeitung, Radio oder Fernsehen aufmerksamer verfolgen.“

Item 8: „Das Experimentieren hat mich dazu gebracht, in Bücherei oder Internet mehr über das Thema zu suchen.“

Die motivierende Wirkung der Experimente wird von den Schülerinnen und Schülern sehr uneinheitlich beurteilt. Die Mittelwerte liegen zwischen 2,3 und 3,0, also im Bereich von „stimmt eher nicht“ bis „teils/teils“. Der Löseversuch liegt mit 3,0 an der Spitze, während die Experimente „Pufferwirkung“ und „Osmose“ am wenigsten zur Motivation beitragen (jeweils 2,3).

Es fällt auf, dass die einzelnen Items sehr unterschiedlich bewertet wurden. Die größte Zustimmung bei allen Experimenten (2,8 bis 4,1) fanden die allgemein formulierten Items 1 („durch das Experimentieren habe ich Lust bekommen, mehr über das Thema zu erfahren“) und 2 („das Experimentieren hat mich zum Nachdenken über das Thema angeregt“). Die Items 3, 4 und 8, die eine eigene Aktivität in der Freizeit erfordern („das Experimentieren hat mich dazu gebracht, dass ich mich in meiner Freizeit mit dem Thema beschäftigen möchte“, „das Experimentieren hat mich motiviert, auch mal zu Hause zu experimentieren“ und „das Experimentieren hat mich dazu gebracht, in Bücherei oder Internet mehr über das Thema zu suchen“) riefen hingegen deutlich weniger Resonanz hervor (1,7 bis 3,1).

Zweimal treten signifikante Geschlechtsunterschiede auf: Die Mädchen bewerteten Item 2 beim Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ und Item 3 beim Experiment „Pufferwirkung“ höher als die Jungen ($p \leq 0,1$ bzw. $p \leq 0,05$).

Besonders spannende Experimente¹⁷⁰

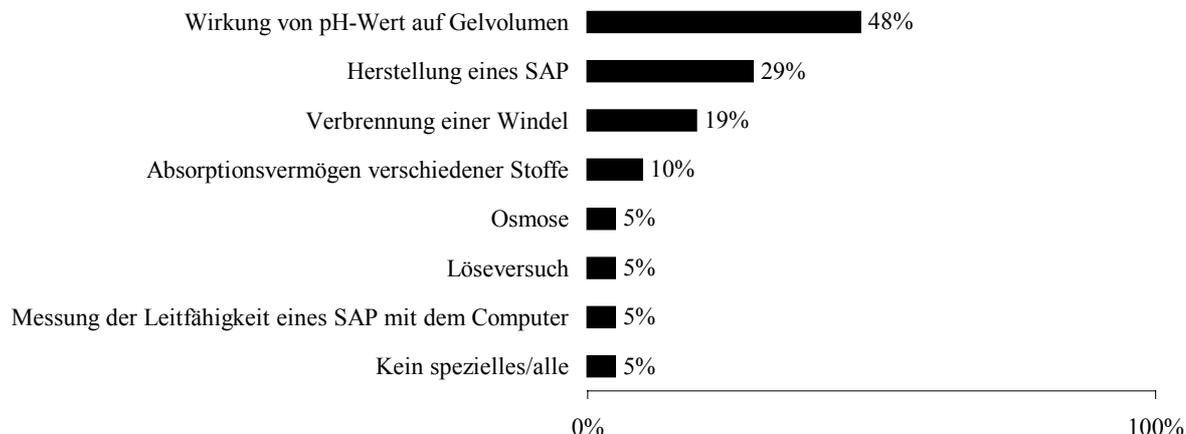


Abbildung 5: „Welche Experimente fanden Sie besonders spannend?“ (frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

48% der Schüler und Schülerinnen fanden das Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ besonders spannend.¹⁷¹ 29% gaben „Herstellung eines SAP“ an, gefolgt von „Verbrennung einer Windel“ mit 19% und „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ mit 10%. Je 5% nannten „Osmose“, den „Löseversuch“ und die „Messung der Leitfähigkeit eines SAP mit dem Computer“, und ebenfalls 5% fanden „kein spezielles“ oder „alle“ Experimente besonders spannend¹⁷², so dass die affektive Einstellung gegenüber den Experimenten durchweg gut war, die motivierende Wirkung wurde bei einzelnen Experimenten unterschiedlich bewertet wurde.

¹⁷⁰ Dieser Aspekt wurde im Fragebogen zur kompletten Unterrichtsreihe erhoben, wird aber wegen des inhaltlichen Zusammenhangs hier behandelt.

¹⁷¹ Dieses Experiment wurde insgesamt auch bei der Evaluierung der einzelnen Versuche am besten beurteilt.

¹⁷² Dass hier nicht Vertreter der fünf „Kernexperimente“ genannt wurden, liegt daran, dass die Schüler und Schülerinnen teilweise zusätzliche Versuche durchgeführt hatten.

Einbeziehen verschiedener Sinne und Anschaulichkeit der Phänomene

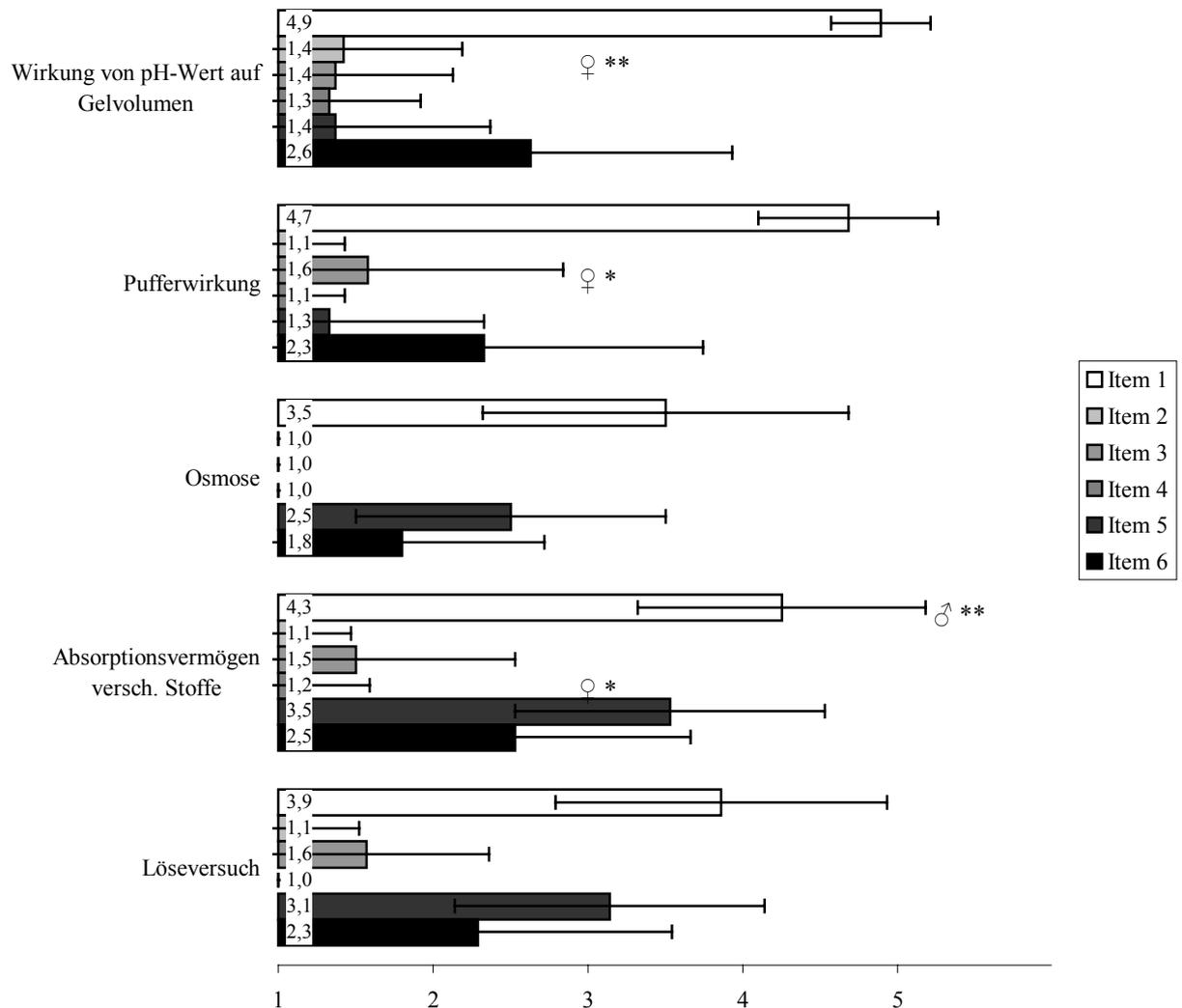


Abbildung 6: Einbeziehen verschiedener Sinne (mit Standardabweichungen) ♀ bzw. ♂: Die Mädchen bzw. die Jungen weisen einen höheren Wert auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: * $p \leq 0,1$; ** $p \leq 0,05$.

Item 1: „Es gab optisch etwas zu beobachten (sehen).“

Item 2: „Man konnte etwas bestimmtes hören (akustische Beobachtung).“

Item 3: „Ich konnte etwas riechen oder schmecken.“

Item 4: „Es waren Temperaturänderungen zu spüren (Wärme oder Kälte).“

Item 5: „Ich habe mit den Fingern untersucht, wie sich etwas anfühlt.“

Item 6: „Im Experiment geschah etwas, das ich schön fand.“

In allen Experimenten dominierten visuelle Eindrücke (Item 1), deren Stärke von 3,5 beim Osmoseversuch bis 4,9 beim Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ reichte.¹⁷³ Etwas zu hören war nur ansatzweise im Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ (Item2, Wert 1,4). Riechen oder schmecken (Item 3) konnte man beim Experiment „Osmose“ gar nichts, in den anderen Versuchen nur ansatzweise (1,4 bis 1,6). Temperaturänderungen (Item 4) waren praktisch nirgends zu spüren. Etwas zu ertasten (Item 5) war bei den Experimenten „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ (3,5), „Löseversuch“ (3,1) und Osmose (2,5) möglich. Der ästhetische Eindruck (Item 6) wurde recht gering eingestuft (zwischen „stimmt gar nicht“ und „teils/teils“) und war bei den Experimenten „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ und „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ noch am größten (2,6 bzw. 2,5). Bei vier Items traten Geschlechtsunterschiede auf.

¹⁷³ Die Bildung eines Mittelwerts ist hier nicht sinnvoll.

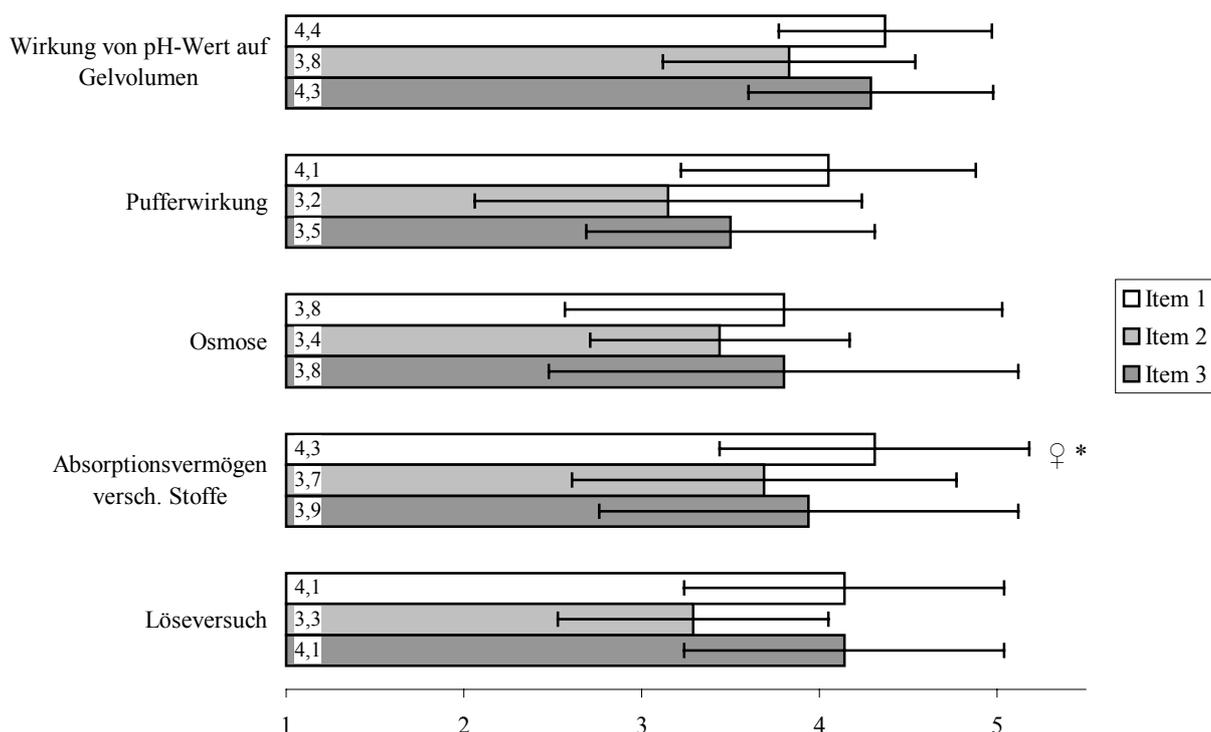


Abbildung 7: Anschaulichkeit der Phänomene (mit Standardabweichungen) ♀: Die Mädchen weisen einen höheren Wert als die Jungen auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: * $p \leq 0,1$.

Item 1: „Ich konnte gut beobachten, was passierte.“

Item 2: „Was ich beobachtet habe, fand ich einprägsam.“

Item 3: „Es war schwierig zu erkennen, was vor sich ging.“ (rekodiert)

Die Phänomene, die bei den Experimenten zu beobachten waren, wurden durchgehend als anschaulich eingestuft („teils/teils“ bis „stimmt völlig“). Das Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ erreichte die höchsten Werte (3,8 bis 4,4).¹⁷⁴ Die Versuche „Pufferwirkung“ und „Osmose“ weisen geringfügig niedrigere Werte als die restlichen Experimente auf (3,2 bis 4,1 bzw. 3,4 bis 3,8). Die beiden Items, die sich auf die Deutlichkeit der Phänomene beziehen, fanden überall stärkere Zustimmung als die Aussage „was ich beobachtet habe, fand ich einprägsam“. In einem Item unterscheiden

¹⁷⁴ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

sich die Geschlechter: Beim Experiment „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ stimmten signifikant mehr Mädchen als Jungen der Aussage „ich konnte gut beobachten, was passierte“ zu ($p \leq 0,1$).

Fazit: Bei allen Versuchen dominierten visuelle Eindrücke. Etwas zu erfühlen gab es beim Experiment „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ sowie beim Löseversuch. Etwas hören, riechen, schmecken oder Temperaturänderung spüren konnte man praktisch nirgends. Der ästhetische Eindruck wurde als mittelmäßig beurteilt und war bei den Experimenten „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ und „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ am höchsten. Die Anschaulichkeit der Phänomene wurde bei allen Experimenten positiv eingestuft, am höchsten beim Versuch „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“, am geringsten beim Puffer- und beim Osmoseexperiment.

Fachlicher Gehalt, klärende Wirkung und Komplexität

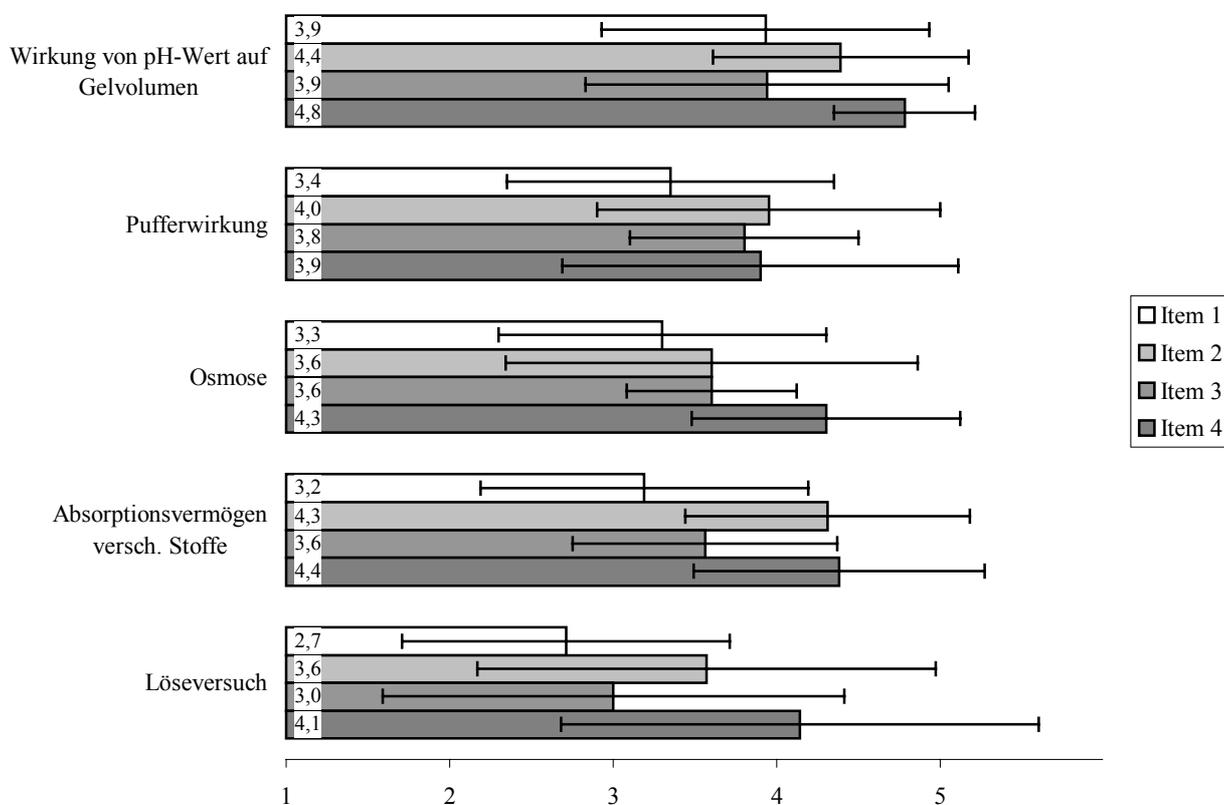


Abbildung 8: Fachlicher Gehalt der Experimente (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Durch das Experimentieren habe ich etwas Neues gelernt.“

Item 2: „Die Experimente passten zum Unterrichtsthema.“

Item 3: „Die Experimente haben mir nichts Wichtiges vermittelt.“ (rekodiert)

Item 4: „Mir ist unklar, was die Experimente mit dem Thema zu tun hatten.“ (rekodiert)

Der fachliche Gehalt der Experimente liegt nach Einschätzung der Schüler und Schülerinnen überall im positiven Bereich („teils/teils“ bis „stimmt völlig“). Einzige Ausnahme: Beim Löseversuch wurde Item 1 („durch das Experimentieren habe ich etwas Neues gelernt“) durchschnittlich nur mit 2,7 bewertet. Das Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ wurde am besten beurteilt (3,9 bis 4,8).¹⁷⁵ Geschlechtsunterschiede sind nicht vorhanden.

¹⁷⁵ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

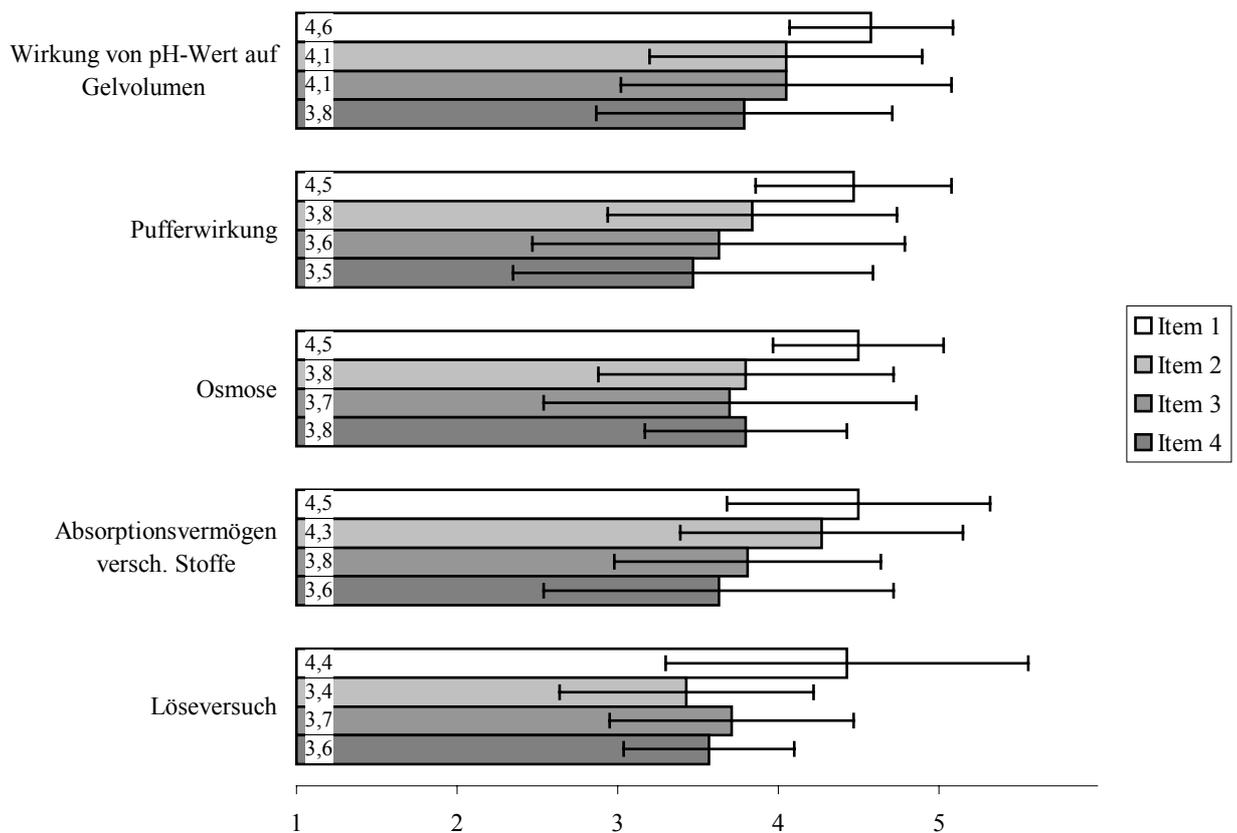


Abbildung 9: Klärende Wirkung der Experimente (mit Standardabweichungen).

Item 1: „Das Experimentieren hat mich verwirrt.“ (rekodiert)

Item 2: „Mir war unklar, wie ich die Beobachtungen interpretieren sollte.“ (rekodiert)

Item 3: „Ein Text, Film oder Unterrichtsgespräch hätte mir sicherlich mehr Klarheit über das Thema verschafft als das Experimentieren.“ (rekodiert)

Item 4: „Durch das Experimentieren verstehe ich das Thema besser.“

In Bezug auf ihre klärende Wirkung wurden sämtliche Experimente in allen Items positiv bewertet („teils/teils“ bis „stimmt völlig“). Zwischen den Versuchen bestehen kaum Unterschiede und ebenso wenig sind geschlechtsspezifische Differenzen zu verzeichnen.

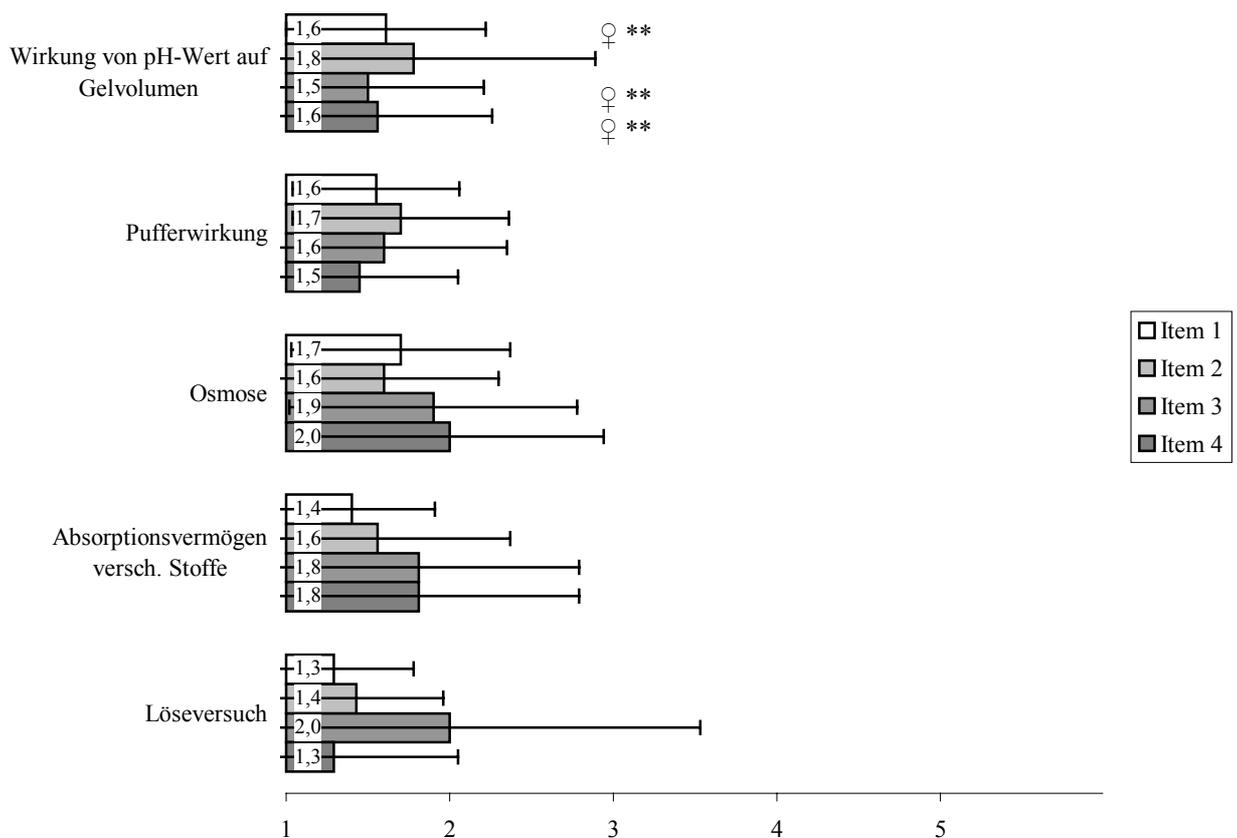


Abbildung 10: Komplexität der Experimente (mit Standardabweichungen) ♀: Die Mädchen weisen einen höheren Wert als die Jungen auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: ** $p \leq 0,05$.

Item 1: „Die Experimente waren sehr kompliziert.“

Item 2: „Die Experimente waren einfach zu verstehen.“ (rekodiert)

Item 3: „Ich fand die Experimente zu umständlich.“

Item 4: „Die Experimente bestanden aus zu vielen Einzelschritten.“

Die Experimente wurden durchweg als sehr wenig kompliziert eingestuft. Sämtliche Werte lagen zwischen „stimmt gar nicht“ und „stimmt eher nicht“. Insgesamt wurde dem Experiment „Osmose“ noch der höchste Abstraktionsgrad beigemessen (1,6 bis 2,0).¹⁷⁶ Signifikante Geschlechtsunterschiede ergaben sich beim Experiment „Wirkung

¹⁷⁶ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

von pH-Wert auf Gelvolumen“. Hier stimmten die Mädchen den Items „die Experimente waren sehr kompliziert“, „ich fand die Experimente zu umständlich“ und „die Experimente bestanden aus zu vielen Einzelschritten“ eher zu als die Jungen (jeweils $p \leq 0,05$).

Fazit: Der fachliche Gehalt lag fast überall im positiven Bereich, wobei das Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ die größten Werte erhielt und der Löseversuch am zurückhaltendsten beurteilt wurde. Allen Experimenten wurde eine klärende Wirkung zugesprochen, die Komplexität durchweg als sehr gering eingestuft.

Subjektive Gefährlichkeit

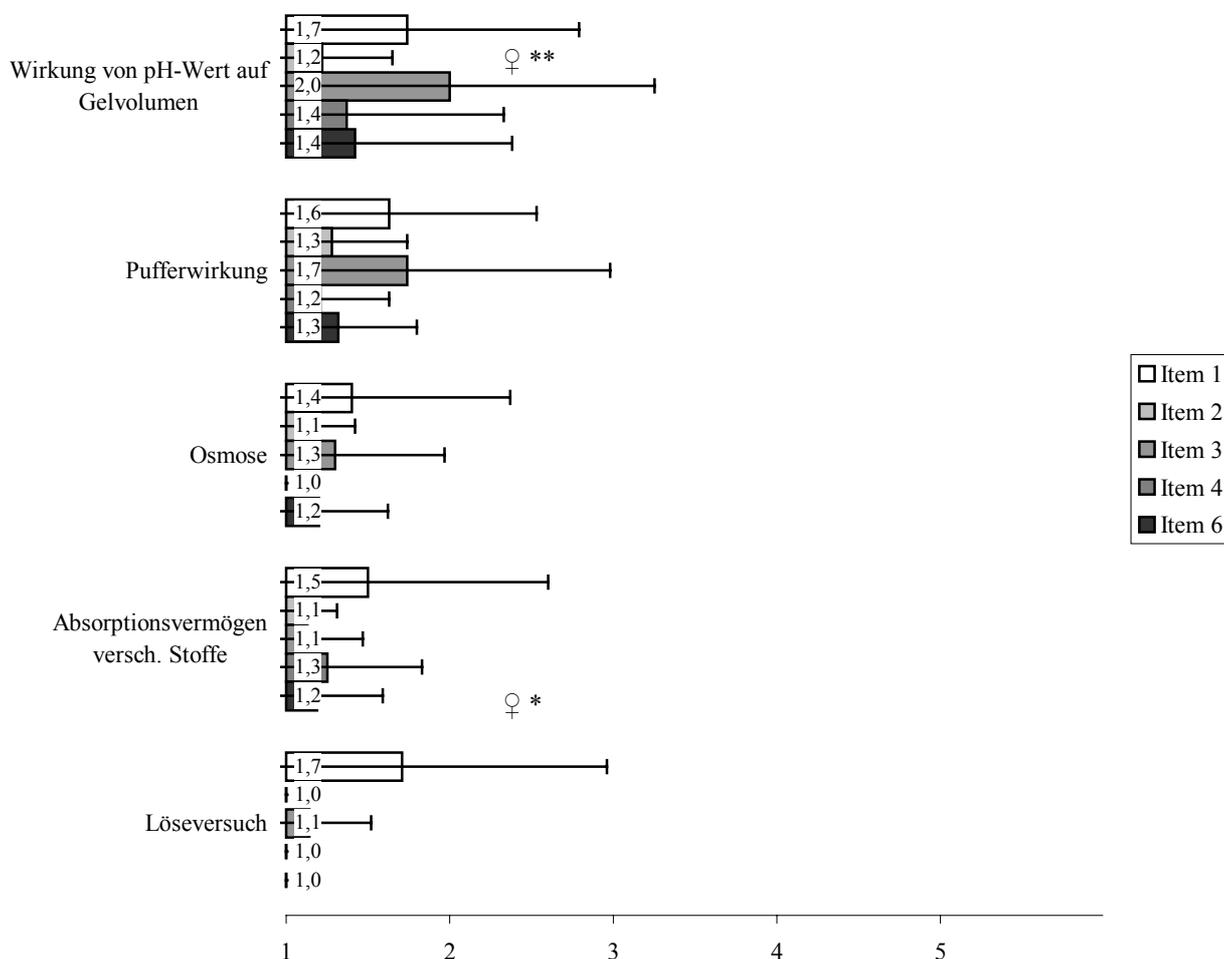


Abbildung 11: Subjektiv empfundene Gefährlichkeit der Versuche (mit Standardabweichungen)¹⁷⁷. ♀: Die Mädchen weisen einen höheren Wert als die Jungen auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: * $p \leq 0,1$; ** $p \leq 0,05$.

Item 1: „Das Experimentieren war ungefährlich.“ (rekodiert)

Item 2: „Ich hatte Angst, dass beim Experimentieren etwas Gefährliches passieren könnte.“

Item 3: „Man musste sehr vorsichtig sein, um sich und andere nicht in Gefahr zu bringen.“

Item 4: „Ich möchte lieber nicht mehr selbst experimentieren.“

Item 6: „Der Umgang mit den Chemikalien war mir nicht geheuer.“

¹⁷⁷ Item 5 („Ich würde gerne auch mal gefährlichere Experimente durchführen.“) wurde aus der Auswertung herausgenommen, da es inhaltlich nicht zu den anderen Items passt.

Die Gefährlichkeit der Experimente wurde durchgehend als gering empfunden. Alle Werte liegen zwischen 1,0 und 2,0. Die größte subjektive Gefahr ging für die Lernenden noch vom Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ aus (1,2 bis 2,0).¹⁷⁸ Bei zwei Items stimmten die Mädchen signifikant stärker zu als die Jungen: Im Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ bei Item 2 („ich hatte Angst, dass beim Experimentieren etwas Gefährliches passieren könnte“) und im Experiment „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ bei Item 6 („der Umgang mit den Chemikalien war mir nicht geheuer“). Allen Experimenten wurde insgesamt eine geringe Gefährlichkeit bescheinigt.

¹⁷⁸ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

Qualität der Versuchsanleitung

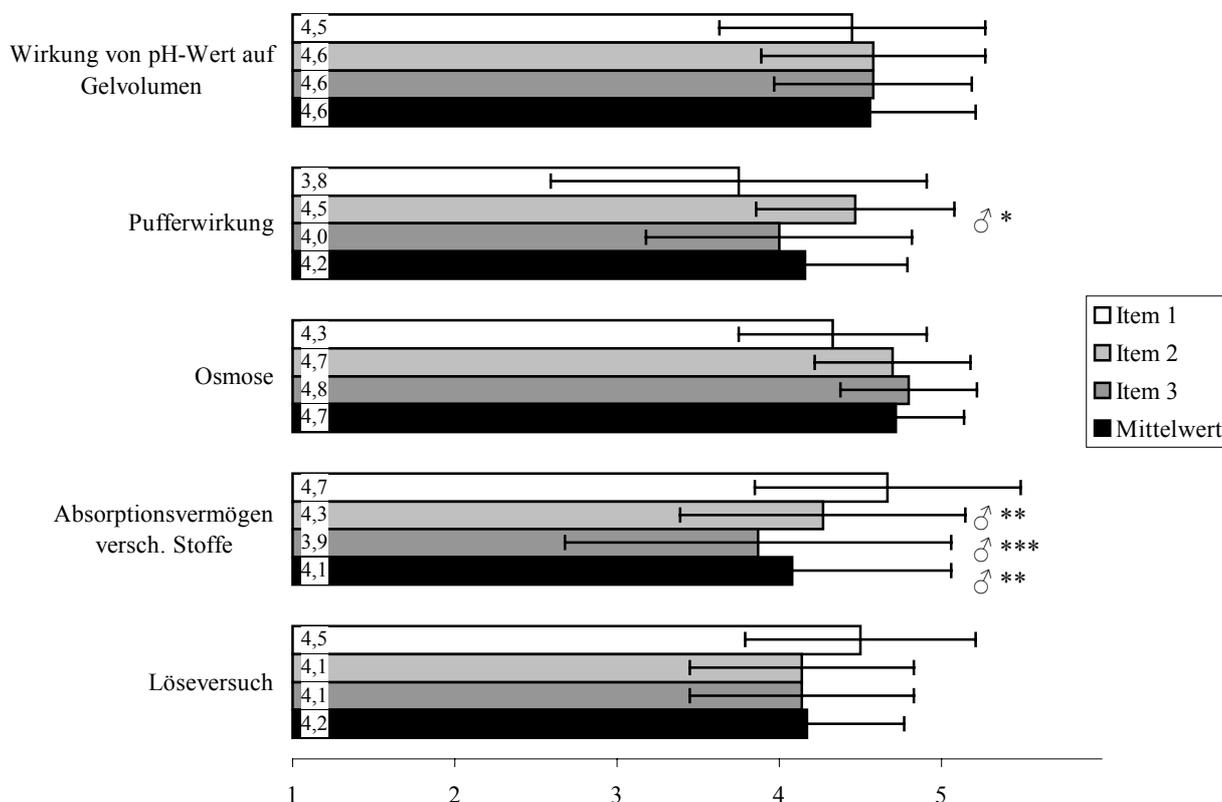


Abbildung 12: Allgemeine Qualität der Versuchsanleitung (mit Standardabweichungen). ♂: Die Jungen weisen einen höheren Wert als die Mädchen auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: * $p \leq 0,1$; ** $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,01$.

Item 1: „Die Versuchsanleitung war gut verständlich.“

Item 2: „Aus der Versuchsanleitung ging genau hervor, was ich an Material und Chemikalien benötige.“

Item 3: „Die Versuchsanleitung machte mir klar, was ich wie tun sollte.“

Die allgemeine Qualität der Versuchsanleitungen wurde durchgehend positiv beurteilt. Alle Mittelwerte lagen zwischen 4,1 und 4,6. Bei den Experimenten „Pufferwirkung“ und „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ wurde ein Teil der Items durch die Jungen signifikant höher bewertet als durch die Mädchen.

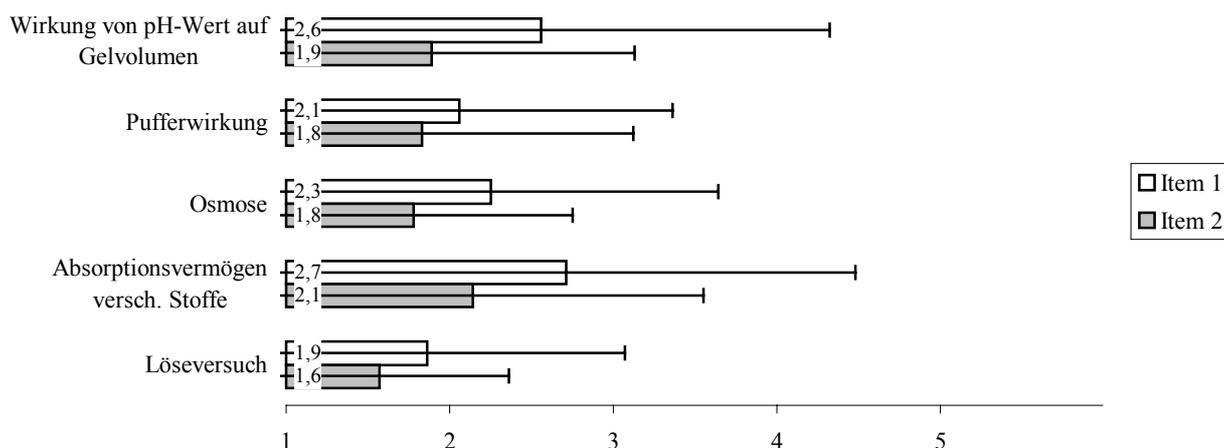


Abbildung 13: Qualität der Versuchsanleitung bezüglich Sicherheits- und Entsorgungshinweisen (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Item 1: „Die Versuchsanleitung stellte klar, welche Sicherheitshinweise zu beachten waren.“

Item 2: „In der Versuchsanleitung wurde ausreichend beschrieben, wie die Substanzen entsorgt werden sollten.“

Die Qualität der Versuchsanleitung bezüglich Sicherheitshinweisen und Entsorgungsanleitung erhielt bei allen Experimenten nicht so hohe Werte, die größten Werte sind noch beim Versuch „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ (Sicherheitshinweise 2,7, Entsorgungshinweise 2,1) zu verzeichnen, die kleinsten beim Löseversuch (1,9 bzw. 1,6). Auffällig sind die hohen Standardabweichungen. Geschlechtsunterschiede sind nicht zu beobachten. Die Versuchsanleitungen wurden bei allen Experimenten im Allgemeinen positiv bewertet, in Sicherheits- und Entsorgungsfragen herrschte allerdings Unsicherheit.

Quantität

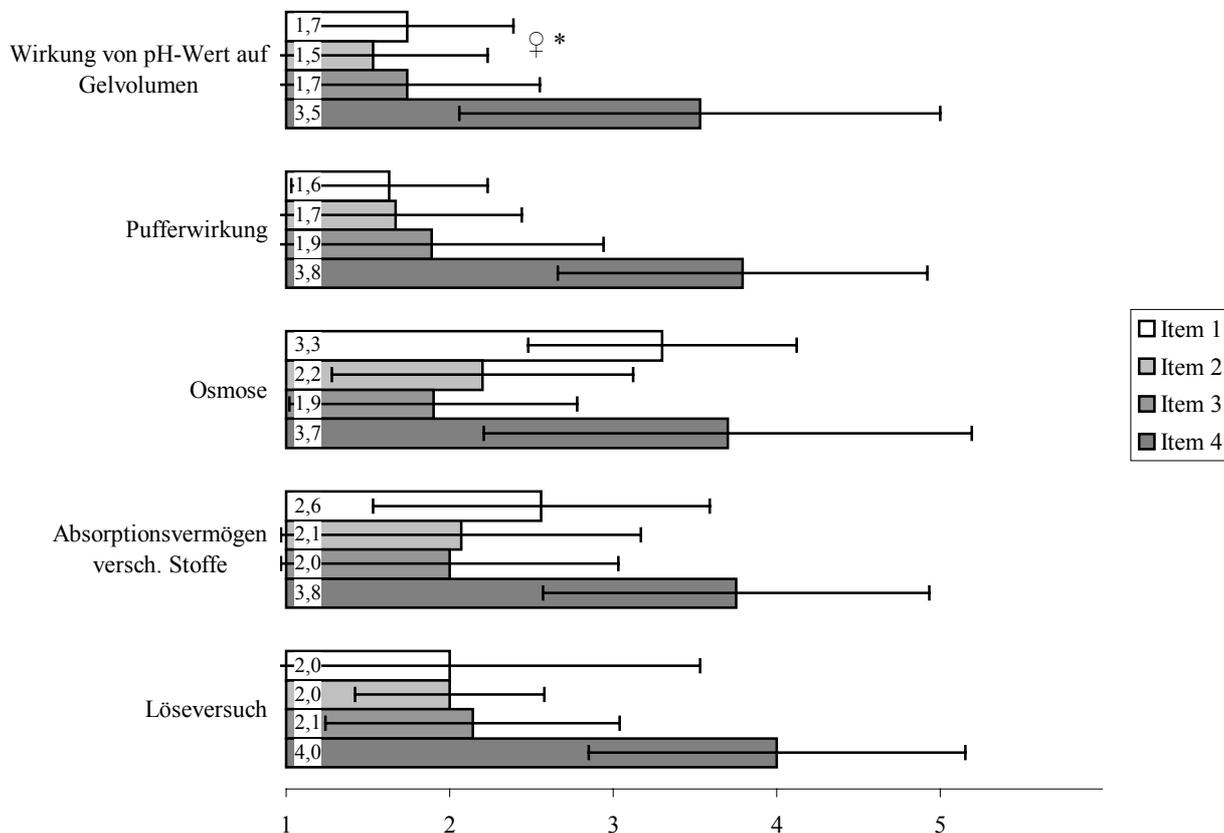


Abbildung 14: Quantität der Experimente (mit Standardabweichungen). ♀: Die Mädchen weisen einen höheren Wert als die Jungen auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: * $p \leq 0,1$.

Item 1: „Das Experimentieren hat zu lange gedauert.“

Item 2: „Durch das Experimentieren hatten wir zu wenig Zeit zum Aufschreiben und Verstehen des Themas.“

Item 3: „Ich bin der Ansicht, dass mehr Unterrichtszeit zum Experimentieren genutzt werden sollte.“ (rekodiert)

Item 4: „Die Experimentierphase fand ich zu knapp.“ (rekodiert)

Die Beurteilung der Quantität bietet ein differenziertes Bild.¹⁷⁹ Bei sämtlichen Versuchen fanden die Schülerinnen und Schüler die Experimentierphase nicht zu knapp (Item 4, rekodierte Werte 3,5 bis 4,0). Grundsätzlich aber sollte mehr Unterrichtszeit zum Experimentieren genutzt werden (Item 3, rekodierte Werte 1,7 bis 2,1). Dass das Experimentieren zu lange gedauert habe (Item 1), fanden die Schülerinnen und Schüler am ehesten bei den Versuchen „Osmose“ und „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ (3,3 bzw. 2,6). Bei diesen beiden Experimenten fand auch Item 2 die größte - wenn auch absolut gesehen geringe - Zustimmung („durch das Experimentieren hatten wir zu wenig Zeit zum Aufschreiben und Verstehen des Themas“, 2,2 bzw. 2,1).

Geschlechtsunterschiede traten nur beim Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ in Item 2 auf. Signifikant mehr Mädchen als Jungen fanden, dass sie durch das Experimentieren zu wenig Zeit zum Aufschreiben und Verstehen des Themas hatten ($p \leq 0,1$). Fazit: Die Schülerinnen und Schüler sind überwiegend der Ansicht, dass grundsätzlich mehr Unterrichtszeit zum Experimentieren genutzt werden sollte, für die Experimente mit den SAP jedoch reichlich Zeit zur Verfügung stand und einzelne Versuche sogar zu lange dauerten.

Interpretation und Zusammenfassung der Ergebnisse

Die fünf Kern-Experimente „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“, „Pufferwirkung“, „Osmose“, „Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe“ und „Löseversuch“ wurden per Fragebogen hinsichtlich zehn Kriterien (Faktoren) durch die Schülerinnen und Schüler der oben beschriebenen Gruppen evaluiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden nicht nach der Reihenfolge auf dem Fragebogen behandelt, sondern nach inhaltlichen Gesichtspunkten gruppiert und angeordnet. Im Folgenden sind die absoluten Aussagen unter einem gewissen Vorbehalt zu lesen, da die verwendete fünfteilige Skala keine exakten, objektiven Werte misst. Bei der Beantwortung der Items kann der Effekt auftreten, dass sich die Befragten teilweise an vorgegebenen Antwortstrukturen sowie an anderen Items orientieren, so dass relativierende Momente in das Antwortverhalten einfließen.

¹⁷⁹ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

Die affektive Einstellung gegenüber den Experimenten war durchweg gut. Für die Schülerinnen und Schüler ist es offensichtlich eine willkommene Abwechslung im Chemieunterricht, selbst Experimente durchzuführen. Selbst der Pufferversuch, der von den Schüler und Schülerinnen noch am zurückhaltendsten beurteilt wurde, erntete deutliche Zustimmung. Dass hingegen die motivierende Wirkung aller Experimente viel schwächer ausgeprägt ist, stellt nur scheinbar einen Widerspruch dar. Bei differenzierter Betrachtung der einzelnen Items fällt auf, dass die allgemein formulierten Aussagen wie „durch das Experimentieren habe ich Lust bekommen, mehr über ein Thema zu erfahren“ teilweise Zustimmung fanden. Die Items, die eine Eigenaktivität in der Freizeit voraussetzen, wurden dagegen fast durchgehend abgelehnt. Hierzu gehören Aussagen wie „das Experimentieren hat mich motiviert, auch mal zu Hause zu experimentieren“. Im Unterricht experimentieren die Lernenden also gerne, lehnen jedoch entsprechende Aktivitäten in der Freizeit ab. Die gleiche Einstellung zeigen sie, wenn man sie nach ihrer außerunterrichtlichen Beschäftigung mit dem Thema SAP fragt (siehe Auswertung der kompletten Unterrichtsreihe).

Dass visuelle Eindrücke in allen Versuchen dominierten, überrascht kaum, denn die Experimente sind auf optische Beobachtungen ausgelegt. Teilweise konnten Stoffe mit den Fingern befühlt werden, was aber für den Erkenntnisgewinn irrelevant war. Insofern waren die Fragen zum Einbeziehen verschiedener Sinne für diese Experimente nicht so ausschlaggebend.

Allen Experimenten wurde eine hohe Anschaulichkeit bescheinigt, wobei die Einprägsamkeit des Beobachteten etwas geringer war. Der Versuch „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ war am anschaulichsten und eindrucksvollsten. Das Kollabieren des Gels durch Zugabe verschiedener Lösungen scheint für die Schüler und Schülerinnen eine spannende Beobachtung zu sein. Dies deckt sich damit, dass dieser Versuch auf die Frage nach besonders spannenden Experimenten am häufigsten genannt wurde. Puffer- und Osmoseversuch waren für die Schülerinnen und Schüler noch am wenigsten anschaulich. Beim Osmoseversuch mag dies daran liegen, dass man nur indirekt etwas sehen konnte: Die Massenzu- bzw. -abnahme des Hühnereis war nur mit der Waage messbar, und das auch erst nach zehn Minuten. (Das Osmoseexperiment war das einzige, was überwiegend als zu lange dauernd empfunden wurde.) Außerdem kam im Gegensatz zu den anderen Experimenten kein SAP zum Einsatz. Insofern müsste

hier entweder ein anderer Versuch gefunden werden, der schneller und anschaulicher das Phänomen „Osmose“ erklärt oder aber die Vorgänge bei der Osmose nur anhand eines Textes noch mal aufgefrischt werden.

Der „Pufferversuch“ war für die Schülerinnen und Schüler ebenfalls weniger spektakulär: Bei Zugabe von Lauge änderte sich die Indikatorfarbe, bei Zugabe von Säure bzw. Farbstofflösung nicht.

Allen Experimenten wurde eine klärende Wirkung und geringe Komplexität zugesprochen. Sämtliche Versuche wurden subjektiv von den Schülerinnen und Schülern als relativ ungefährlich empfunden. Das Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ wurde subjektiv noch als am gefährlichsten eingestuft, vermutlich weil mit Säuren und Laugen hantiert wurde.

Die Versuchsanleitungen wurden im Allgemeinen positiv bewertet. Bezüglich Sicherheits- und Entsorgungshinweisen herrschte jedoch Unsicherheit. Dies erklärt sich daraus, dass auf den Versuchsanleitungen auf derartige Hinweise verzichtet wurde, weil diese Schülerinnen und Schüler nach Angaben der Lehrenden sowieso gewohnt waren, mit Schutzbrille und Kittel zu arbeiten, überwiegend harmlose Substanzen verwendet wurden und die Entsorgung nicht von den Schüler und Schülerinnen selbst erledigt werden musste.

Zur Frage der Quantität sind die Schülerinnen und Schüler der Ansicht, dass grundsätzlich mehr Unterrichtszeit zum Experimentieren genutzt werden sollte, was mit ihrer positiven affektiven Einstellung gegenüber den Experimenten korreliert. Für die Versuche mit den SAP stand nach Einschätzung der Schülerinnen und Schüler jedoch reichlich Zeit zur Verfügung – die entsprechende Unterrichtsstunde bestand ja praktisch nur aus Schülerexperimenten. Teilweise dauerten die Versuche den Schülerinnen und Schüler sogar zu lange. Am deutlichsten war dies beim Osmoseversuch zu verzeichnen. Dies dürfte sich mindernd auf die Anschaulichkeit ausgewirkt haben.

Insgesamt erhielt das Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ die besten Beurteilungen. Ihm wurde der größte fachliche Gehalt, die höchste Anschaulichkeit und klärende Wirkung sowie die zweitgrößte motivierende Wirkung bescheinigt.

Puffer- und Osmoseversuch wurden insgesamt am zurückhaltendsten beurteilt. Ihnen wurde die geringste Anschaulichkeit und motivierende Wirkung zugeschrieben. Mit

diesen beiden Experimenten konnten die Schülerinnen und Schüler noch am wenigsten anfangen.

8.9 Ergebnisse zur kompletten Unterrichtsreihe

Die Aspekte dieser Erhebung werden nicht nach der Reihenfolge auf dem Fragebogen behandelt, sondern sind nach inhaltlichen Gesichtspunkten gruppiert und angeordnet. Der Aspekt „Besonders spannende Ergebnisse“ wird aus Kontextgründen im Kapitel „Affektive Einstellung und motivierende Wirkung“ der einzelnen Experimente behandelt.

Inhalte und Aspekte der Unterrichtsreihe

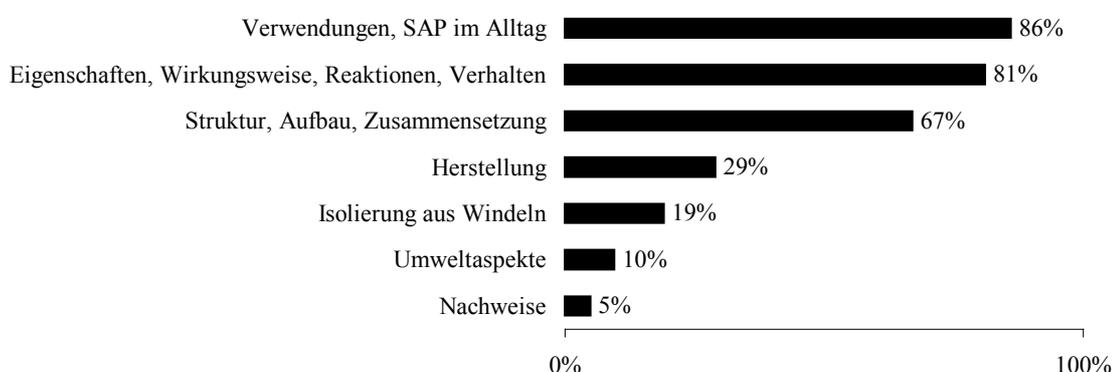


Abbildung 15: „Nennen Sie kurz die wesentlichen Inhalte der Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere.“ (frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

Auf die Frage nach den wesentlichen Inhalten der Unterrichtsreihe wurden Antworten aus sieben verschiedenen Kategorien gegeben. Anwendungen in Industrie und Alltag wurden mit 86% am häufigsten angeführt, dicht gefolgt von Eigenschaften, Wirkungsweisen, Reaktionen und Verhalten (81%). Struktur, Aufbau und Zusammensetzung von SAP erwähnten 67%. Weitaus weniger Schülerinnen und Schüler nannten die Herstellung (29%), die Isolierung aus Windeln (19%), Umweltaspekte (10%) und Nachweise (5%).

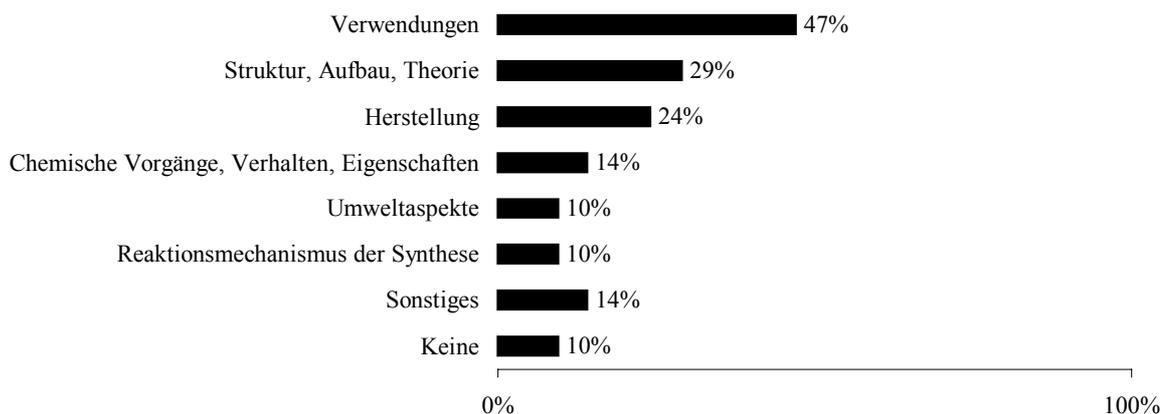


Abbildung 16: „Welche Inhalte hätten Sie innerhalb dieser Unterrichtsreihe lieber ausführlicher behandelt?“ (frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

Bei denjenigen Inhalten, die die Schülerinnen und Schüler lieber ausführlicher behandelt hätten, stehen an erster Stelle die Verwendungen mit 47%, gefolgt von Struktur, Aufbau und Theorie (29%) und Herstellung (24%). 14% hätten gerne mehr über chemische Vorgänge, Verhalten und Eigenschaften von SAP gelernt und je 10% wollten Umweltaspekte und den Reaktionsmechanismus der Synthese vertiefen. 10% wünschten sich ausdrücklich keine weitere Behandlung und 14% gaben sonstige Antworten.

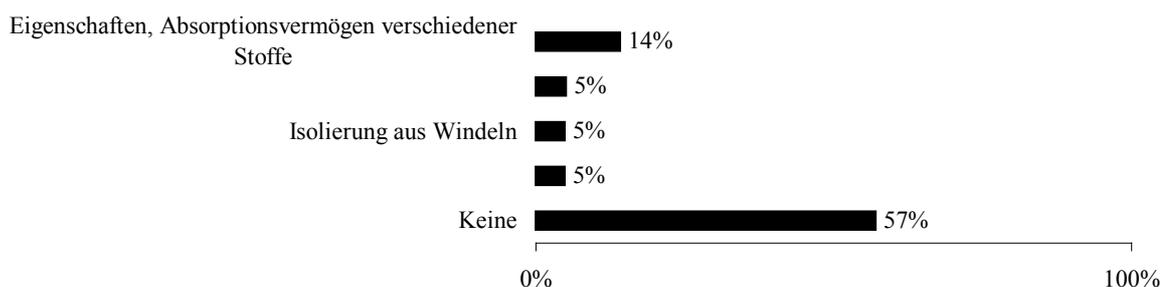


Abbildung 17: „Welche Inhalte waren Ihnen zu umfangreich?“ (frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

Nach zu umfangreichen Inhalten gefragt, gaben 57% der Schülerinnen und Schüler „keine“ an. Für 14% wurden die Eigenschaften von SAP und das Absorptionsvermögen

verschiedener Stoffe zu ausführlich behandelt und je 5% nannten Verwendungen von SAP, Isolierung aus Windeln sowie Struktur/Aufbau.

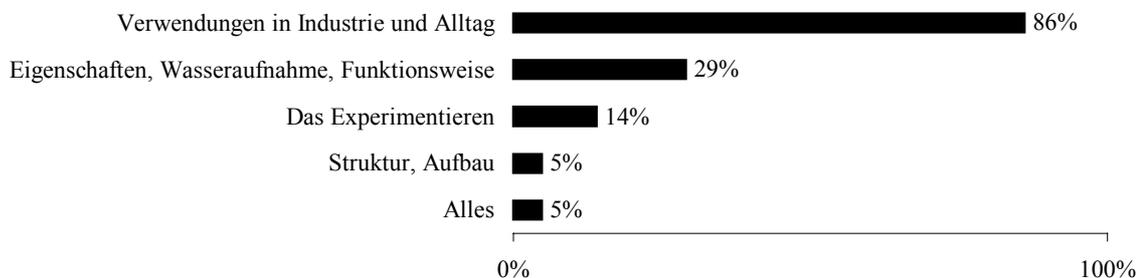


Abbildung 18: „Was fanden Sie besonders interessant an dem Thema?“ (frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

„Besonders interessant“ am Thema fanden 86% der Schülerinnen und Schüler die Verwendungen der SAP in Industrie und Alltag. 29% nannten Eigenschaften und Funktionsweise, insbesondere die Wasseraufnahme. Das Experimentieren wurde von 14% angegeben und je 5% fanden Struktur/Aufbau bzw. alles besonders interessant. Unter den Inhalten werden offenbar die praktischen Verwendungen von SAP in Alltag und Industrie von den Schülerinnen und Schüler favorisiert.

Individuelle und gesellschaftliche Bedeutung

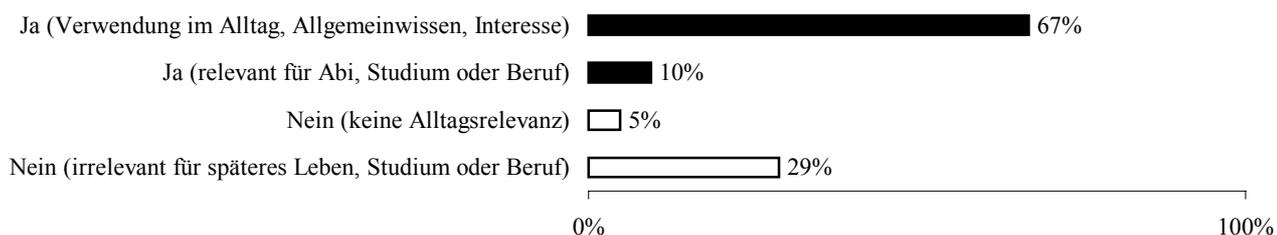


Abbildung 19: „Glauben Sie, dass die Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere für Ihr Leben von Bedeutung ist?“ (frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent) Die Nennungen addieren sich nicht zu 100%, da teilweise Begründungen für Ja und Nein gegeben wurden.

Die Frage, ob die Unterrichtsreihe für *ihr* Leben von Bedeutung sei, wurde von den Schülerinnen und Schüler mehrheitlich bejaht und von einem Teil verneint, wobei teilweise Begründungen für beide Ansichten gegeben wurden. 67% fanden die Unterrichtseinheit bedeutsam, weil ihnen SAP im Alltag begegneten, zum Allgemeinwissen gehörten oder aus nicht näher definiertem Interesse. 10% schätzten SAP als relevant für Abitur, Studium oder Beruf ein, 5% sprachen den SAP jede Alltagsbedeutung ab und 29% waren der Meinung, dass SAP im späteren Leben, Studium oder Beruf keine Rolle spielten.

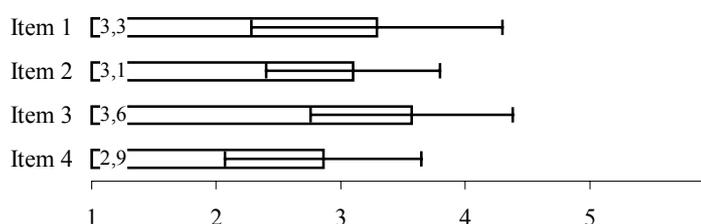


Abbildung 20: Bedeutung des Themas SAP für die Gesellschaft (mit Standardabweichungen).

Item 1: „Dieses Thema ist für unsere Gesellschaft wichtig.“

Item 2: „In Zukunft wird es von Bedeutung sein, sich mit dem Thema auszukennen.“

Item 3: „Es ist wichtig, dass dieses Thema in der Schule behandelt wird.“

Item 4: „Mit diesem Thema sollten sich alle Leute beschäftigen.“

Die Bedeutung des Themas SAP für die Gesellschaft wird als mittelmäßig eingestuft. Die Mittelwerte der vier Items liegen zwischen 2,9 und 3,6.¹⁸⁰ Am meisten Zustimmung bekam Item 3, am wenigsten Item 4. Geschlechtsunterschiede waren nicht vorhanden.

Als Fazit ist festzustellen, dass die Bedeutung von superabsorbierenden Polymeren von zwei Drittel der Schülerinnen und Schüler damit begründet wird, dass sie im Alltag eine Rolle spielen. Dementsprechend sollte das Thema in der Schule behandelt werden. 29% halten das Thema SAP allerdings für irrelevant in ihrem zukünftigen (Berufs-)Leben.

Interesse und außerunterrichtliche Beschäftigung mit dem Thema

¹⁸⁰ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

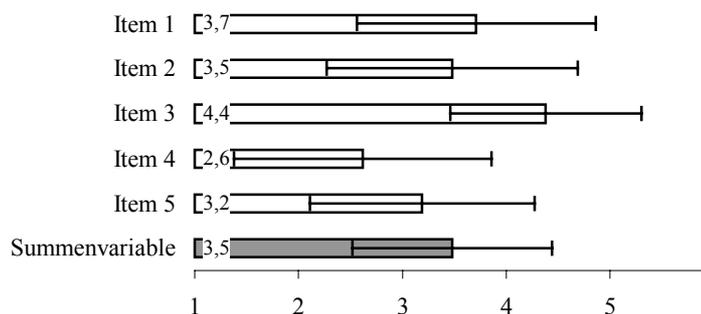


Abbildung 21: Interesse an der Unterrichtseinheit (mit Standardabweichungen).

Item 1: „Ich habe für mich selbst etwas dazugelernt.“

Item 2: „Ich möchte über dieses Thema gerne noch mehr erfahren.“

Item 3: „Ich finde das Thema uninteressant.“ (rekodiert)

Item 4: „Mit diesem Thema werde ich mich selbst weiter beschäftigen.“

Item 5: „Ich war neugierig, wie es in der nächsten Stunde weiterging.“

Das Interesse an der Unterrichtseinheit lag überwiegend im positiven Bereich. Der Mittelwert beträgt 3,5 (zwischen „teils/teils“ und „stimmt“ eher). Den höchsten Wert erreichte Item 3 („ich finde das Thema uninteressant“, rekodiert 4,4). Das einzige Item, das überwiegend abgelehnt wurde, ist Item 4, was eine eigene Aktivität in der Freizeit erfordert: „mit diesem Thema werde ich mich selbst weiter beschäftigen“ wurde durchschnittlich mit 2,6 bewertet (zwischen „stimmt eher nicht“ und „teils/teils“). Geschlechtsunterschiede traten nicht auf.

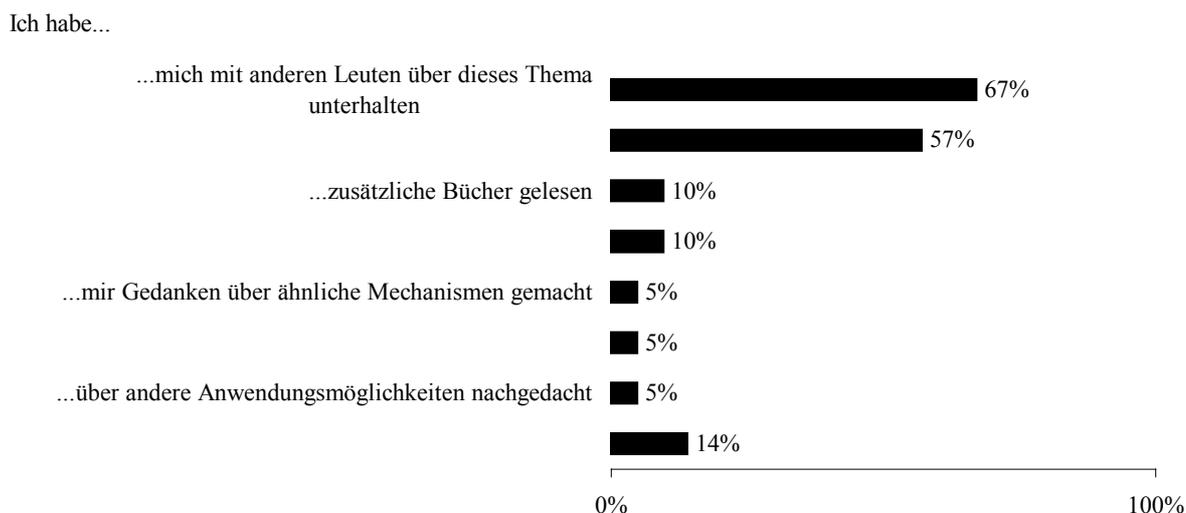


Abbildung 22: „Wie haben Sie sich außerhalb der Schulstunden mit dem Thema Superabsorbierende Polymere beschäftigt (z. B. für Ihre Hausaufgaben oder aus persönlichem Interesse)?“ (teils vorgegebene, teils frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

Nach außerunterrichtlicher Beschäftigung mit dem Thema SAP gefragt, gaben zwei Drittel der Schülerinnen und Schüler an, sich „mit anderen Leuten über dieses Thema unterhalten“ zu haben. 57% haben „über bestimmte Aspekte weiter nachgedacht“, je 10% „zusätzliche Bücher gelesen“ oder „im Internet nach weiteren Informationen gesucht“. Je 5% haben sich „Gedanken über ähnliche Mechanismen gemacht“, „Artikel in der Tageszeitung gelesen“ oder „über andere Anwendungsmöglichkeiten nachgedacht“. 14% gaben an, sich nicht weiter mit dem Thema beschäftigt zu haben. Geschlechtsunterschiede konnten nicht nachgewiesen werden. Als Fazit ist festzustellen, dass Interesse am Thema SAP vorhanden ist. Jedoch reicht es kaum aus, um die Schülerinnen und Schüler in ihrer Freizeit zu aktivieren. Dasselbe Ergebnis liefert die Erhebung der motivierenden Wirkung der einzelnen Experimente.

Abstraktionsgrad

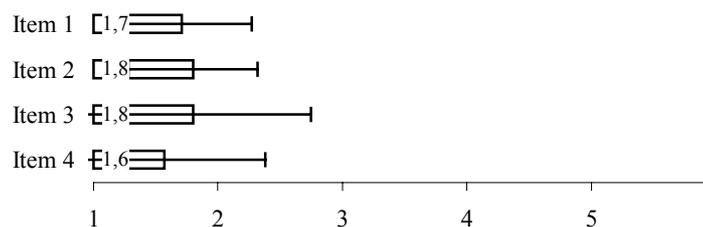


Abbildung 23: Abstraktionsgrad des Themas SAP (mit Standardabweichungen).

Item 1: „Das Thema war sehr theoretisch.“

Item 2: „Das Thema befasste sich mit konkreten Dingen.“ (rekodiert)

Item 3: „Das Thema war sehr abstrakt.“

Item 4: „Ich finde das Thema eher trocken.“

Der Abstraktionsgrad des Themas SAP wurde von den Schülerinnen und Schüler als gering eingestuft. Die Werte aller vier Items lagen unter 2.¹⁸¹ Geschlechtsunterschiede lagen nicht vor. Das Thema wurde also von den Schülerinnen und Schüler als wenig abstrakt empfunden. Dies korreliert mit der als gering eingestuften Komplexität der einzelnen Experimente und mit der Dominanz der praktischen Anwendungen bei den Inhalten und bei der Gruppenarbeit.

¹⁸¹ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

Gruppenarbeitsphase

Themen der Gruppenarbeitsphase

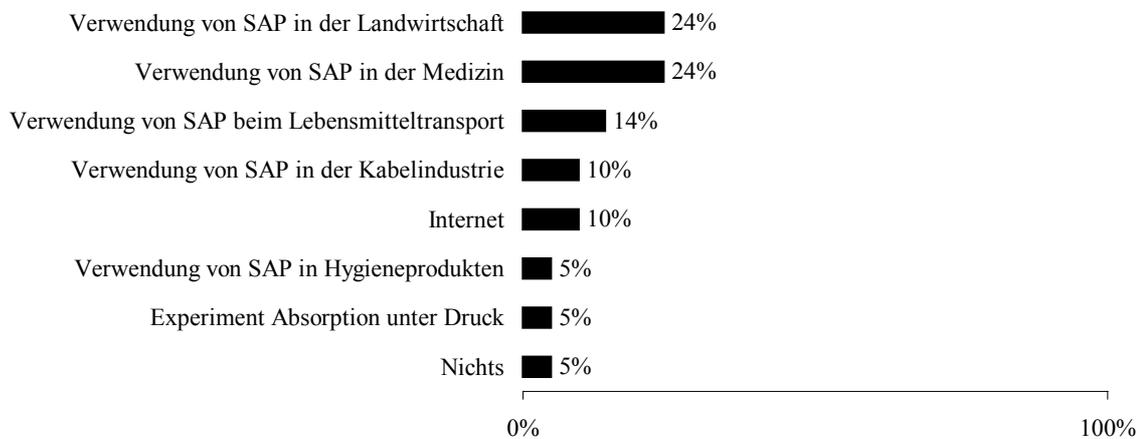


Abbildung 24: „Mit welchem Thema haben Sie sich während der Gruppenarbeitsphase beschäftigt?“
(frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

Auf die Frage, mit welchem Thema sie sich während der Gruppenarbeitsphase beschäftigten, gaben je 24% der Schülerinnen und Schüler Verwendung von SAP in der Landwirtschaft bzw. in der Medizin an. 14% befassten sich mit Anwendungen beim Lebensmitteltransport und 10% mit Verwendungen in der Kabelindustrie. 10% nannten das Internet und je 5% beschäftigten sich mit SAP in Hygieneprodukten bzw. dem Experiment „Absorption unter Druck“. 5% gaben an, kein Thema bearbeitet zu haben.

Positive Aspekte der Gruppenarbeit

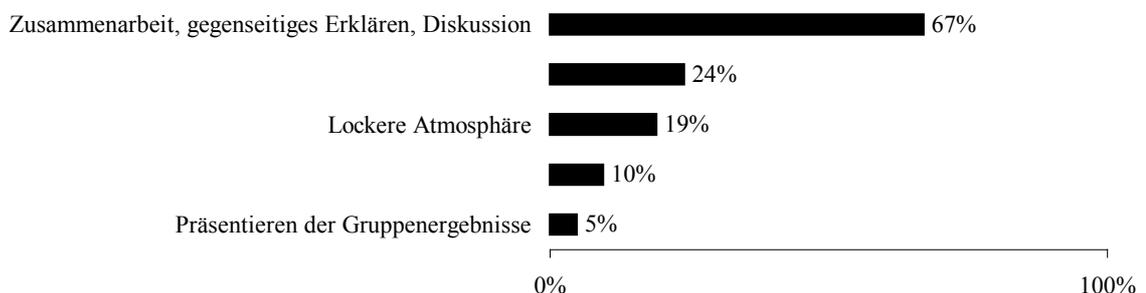


Abbildung 25: „Was hat Ihnen an der Gruppenarbeit gut gefallen?“ (frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

Auf die Frage, was ihnen an der Gruppenarbeit gut gefallen habe, nannten zwei Drittel der Schülerinnen und Schüler die Zusammenarbeit, das gegenseitige Erklären und die Diskussion. 24% hat die Selbstständigkeit, die eigenverantwortliche Tätigkeit und der Freiraum gut gefallen, 19% die lockere Atmosphäre. 10% führten Interesse am Thema oder Wissenszuwachs an, und 5% nannten das Präsentieren der Gruppenergebnisse. Geschlechtsspezifische Unterschiede wurden nicht nachgewiesen.

Negative Aspekte der Gruppenarbeit

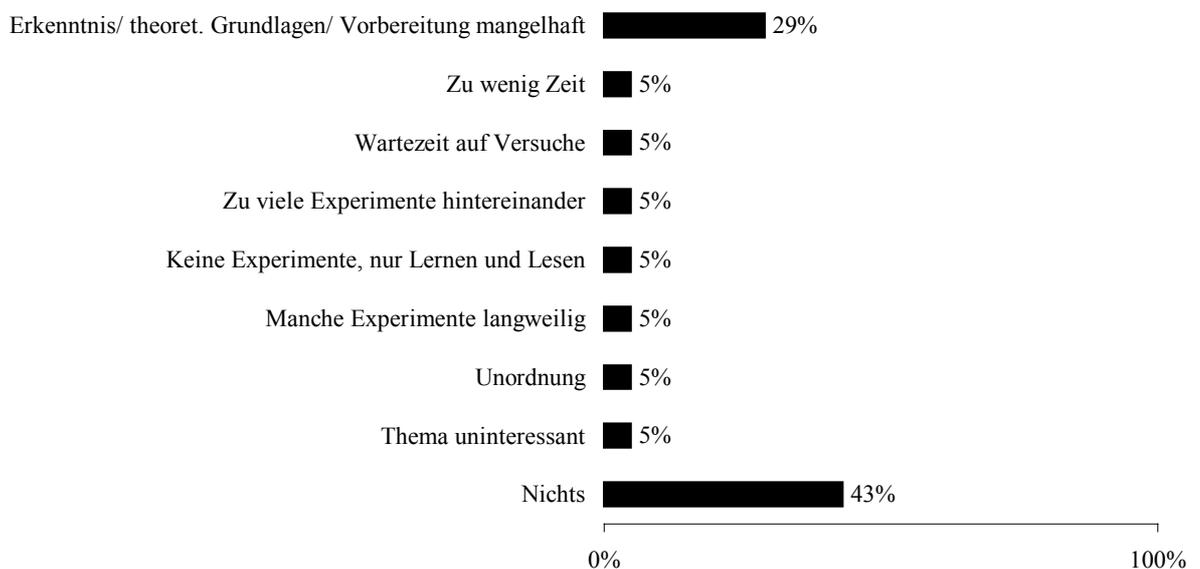


Abbildung 26: „Was hat Sie an der Gruppenarbeit gestört?“ (frei formulierte Antworten, Nennungen in Prozent)

Danach gefragt, was sie an der Gruppenarbeit gestört habe, wurden die unterschiedlichsten Antworten gegeben. 29% nannten Mängel beim Erkenntnisgewinn, bei den theoretischen Grundlagen bzw. bei der Vorbereitung. 43% gaben an, dass sie nichts gestört habe.

Lernerfolg während der Gruppenarbeit

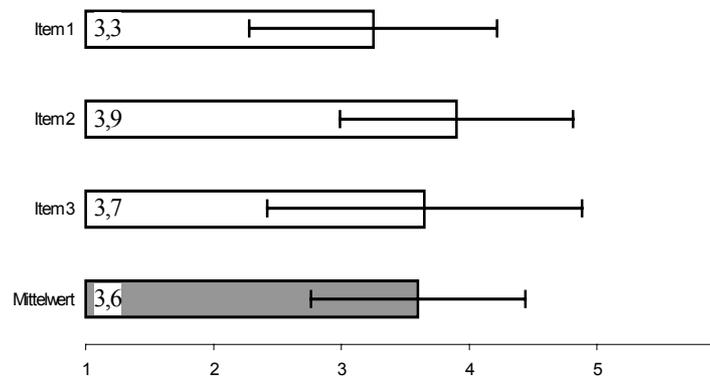


Abbildung 27: Lernerfolg während der Gruppenarbeit (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Während der Gruppenarbeit habe ich mehr gelernt als sonst.“

Item 2: „Die Gruppenarbeit war nicht so erfolgreich.“ (rekodiert)

Item 3: „Alleine zu lernen finde ich effektiver als Gruppenarbeit.“ (rekodiert)

Der Lernerfolg während der Gruppenarbeit wurde überwiegend positiv beurteilt. Die drei Items wiesen Mittelwerte zwischen 3,3 und 3,9 auf, der Mittelwert lag bei 3,6, also zwischen „teils/teils“ und „stimmt eher“. Geschlechtsunterschiede wurden nicht festgestellt.

Zusammenarbeit während der Gruppenarbeit

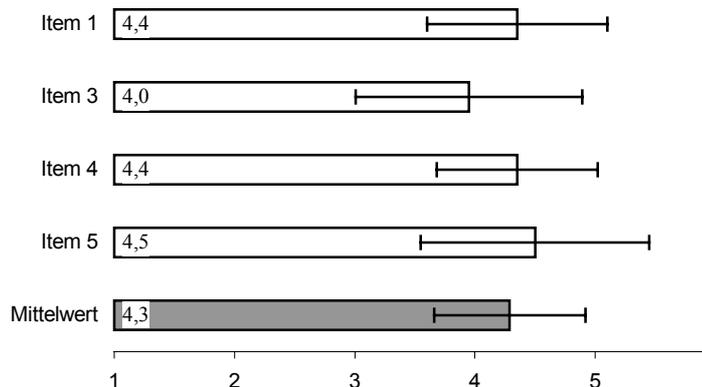


Abbildung 28: Zusammenarbeit in der Gruppenarbeitsphase (mit Standardabweichungen).

Item 1: „Mit meiner Gruppe konnte ich gut zusammenarbeiten.“

Item 3: „Es war nervig, mich mit den anderen abstimmen zu müssen.“ (rekodiert)

Item 4: „Wir haben problemlos zusammengearbeitet.“

Item 5: „Es gab oft Reibereien.“ (rekodiert)

Die Zusammenarbeit in der Gruppenarbeitsphase wurde von den Schülerinnen und Schülern positiv beurteilt. Die Werte der einzelnen Items betragen 4,0 bis 4,5, lagen also zwischen „stimmt eher“ und „stimmt völlig“. Der Mittelwert betrug 4,3. Differenzen zwischen Mädchen und Jungen gab es nicht. Auffällig ist, dass die Werte aller Items im hohen Bereich und nah beieinander liegen und eine geringe Standardabweichung aufweisen.

Klima während der Gruppenarbeit

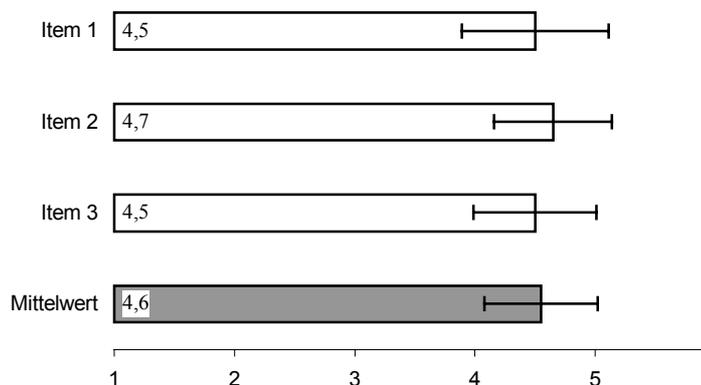


Abbildung 29: Klima während der Gruppenarbeitsphase (Mittelwerte und Standardabweichungen).

Item 1: „Bei der Gruppenarbeit herrschte eine angenehme Atmosphäre.“

Item 2: „Vom Klima in der Gruppe war ich enttäuscht.“ (rekodiert)

Item 3: „Wir haben uns gut verstanden.“

Das Klima während der Gruppenarbeitsweise wurde sehr positiv beurteilt. Die drei Items erreichten Werte von 4,5 bis 4,7, der Mittelwert 4,6. Geschlechtsdifferenzen traten nicht auf. Alle Werte liegen nah beieinander im sehr hohen Bereich und haben eine geringe Standardabweichung. Bei Betrachtung der Werte kommt man zum Schluss, dass die Gruppenarbeit insgesamt positiv aufgenommen wurde und Zusammenarbeit, Gespräche, eigenverantwortliche Tätigkeit und Klima sowie der Lernerfolg gut bewertet wurden, wobei bei letzterem 29% der Schülerinnen und Schüler Defizite bei Vorbereitung, Erkenntnisgewinn und theoretischen Grundlagen monierten.

Präsentation der Gruppenergebnisse

Eigene Präsentation

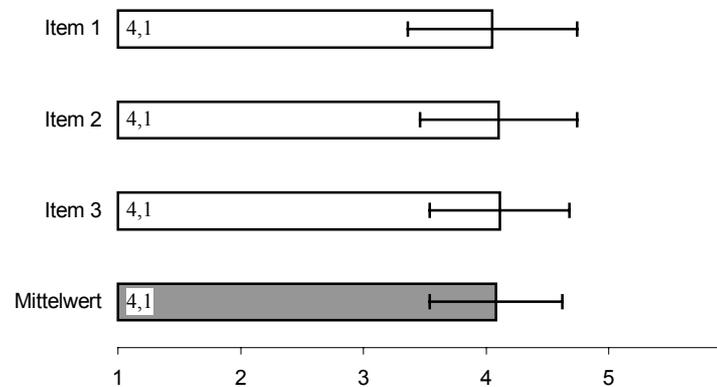


Abbildung 30: Präsentation der eigenen Gruppenergebnisse (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Es war leicht, den anderen unsere Ergebnisse vorzustellen.“

Item 2: „Wir wussten nicht genau, worauf es bei der Präsentation ankam.“ (rekodiert)

Item 3: „Unsere Ergebnispräsentation verlief schleppend.“ (rekodiert)

Die Präsentation der eigenen Gruppenergebnisse wurde positiv beurteilt. Die einzelnen Items sowie der Mittelwert lagen bei jeweils 4,1, also im Bereich von „stimmt eher“.

Profit von anderen Präsentationen

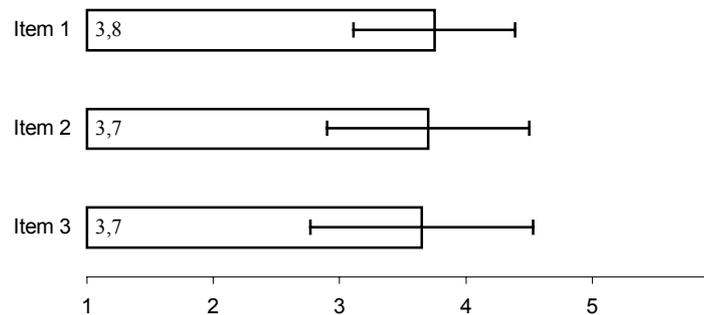


Abbildung 31 Profit von den Präsentationen fremder Gruppenergebnisse (mit Standardabweichungen).

Item 1: „Ich habe die Erklärungen der anderen Gruppen gut verstanden.“

Item 2: „Ich habe von den anderen Gruppen etwas gelernt.“

Item 3: „Die Ergebnisse der anderen Gruppen hätten besser aufbereitet und präsentiert werden müssen.“
(rekodiert)

Der Profit von den Präsentationen fremder Gruppenergebnisse wurde überwiegend positiv eingeschätzt. Die Werte der drei Items lagen zwischen 3,7 und 3,8, also zwischen „teils/teils“ und „stimmt eher“.¹⁸² Geschlechtsunterschiede tragen nicht zutage. Es existieren geringe Standardabweichungen.

¹⁸² Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

Kooperatives Verhalten während der Präsentationen

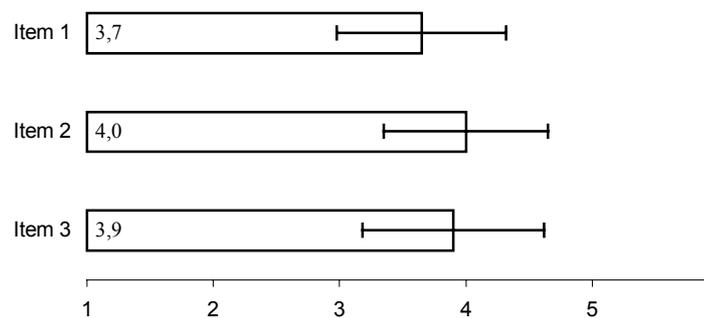


Abbildung 32: Kooperatives Verhalten während der Präsentationen der Gruppenergebnisse (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Die ZuhörerInnen haben gut mitgemacht.“

Item 2: „Die Atmosphäre bei der Präsentation war nicht so berauschend.“ (rekodiert)

Item 3: „Die ZuhörerInnen zeigten Interesse an den Ergebnissen der anderen Gruppen.“

Das kooperative Verhalten während der Präsentationsphase der Gruppenergebnisse wurde positiv bewertet. Die drei Items ergaben Werte von 3,7 bis 4,0, also im Bereich zwischen „teils/teils“ und „stimmt eher“.¹⁸³ Geschlechtsunterschiede gab es nicht. Es fällt auch auf, dass alle Werte im hohen Bereich nah beieinander liegen und kaum Standardabweichung haben.

¹⁸³ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

Selbstständigkeit während der Präsentationen

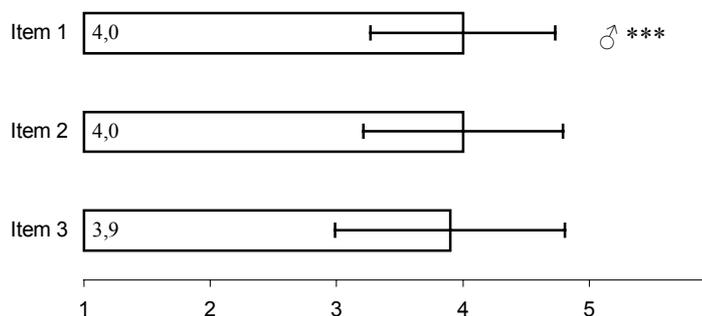


Abbildung 33: Selbstständigkeit während der Präsentationen der Gruppenergebnisse (mit Standardabweichungen).. ♂: Die Jungen weisen einen höheren Wert als die Mädchen auf (t-Test für unabhängige Stichproben). Signifikanz: *** $p \leq 0,01$.

Item 1: „Die Ergebnispräsentation haben wir selbständig hinbekommen.“

Item 2: „Die Lehrperson musste oft eingreifen.“ (rekodiert)

Item 3: „Insgesamt war die Präsentation eine unsichere Angelegenheit.“ (rekodiert)

Die Selbstständigkeit während der Präsentationen der Gruppenergebnisse wurde positiv eingeschätzt. Die Werte der drei Items lagen zwischen 3,9 und 4,0, also im Bereich von „stimmt eher“.¹⁸⁴ Item 1 („die Ergebnispräsentation haben wir selbständig hinbekommen“) erhielt von den Jungen eine signifikant höhere Zustimmung als von den Mädchen ($p \leq 0,01$).

¹⁸⁴ Ein Mittelwert wurde aufgrund der niedrigen Reliabilität nicht gebildet.

Interesse an den Präsentationen

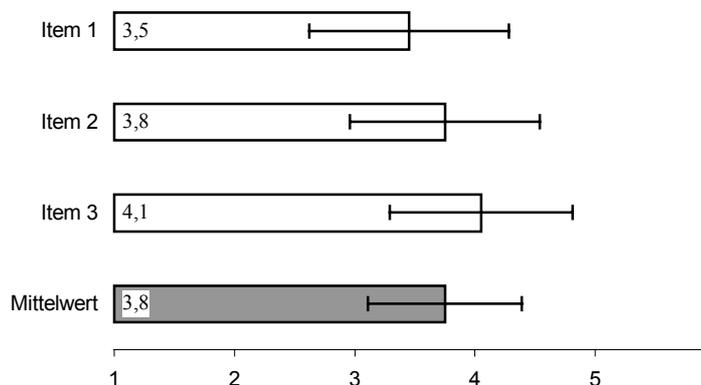


Abbildung 34: Interesse an der Präsentation der Gruppenergebnisse (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Die Auswertungsphase war spannend.“

Item 2: „Die Ergebnisse der einzelnen Gruppen haben mich interessiert.“

Item 3: „Die Ergebnispräsentation war langweilig.“ (rekodiert)

Die Schülerinnen und Schüler zeigten überwiegend Interesse an den Ergebnispräsentationen. Die drei Items lagen zwischen 3,5 und 4,1, also im Bereich zwischen „teils/teils“ und „stimmt eher“. Der Mittelwert betrug 3,8. Geschlechtsunterschiede gab es nicht. Insgesamt wurden die eigene Präsentation, das kooperative Verhalten und die Selbständigkeit positiv bewertet. Interesse an den Präsentationen war überwiegend ebenfalls vorhanden. Auch der Erkenntnisgewinn von anderen Gruppenergebnissen wurde vorwiegend positiv beurteilt, obgleich vereinzelt Kritik daran geäußert wurde.¹⁸⁵

¹⁸⁵ „Mangelhafter Erkenntnisgewinn aus den anderen Gruppen“ wurde auf die Frage geantwortet, was an der Gruppenarbeit gestört habe.

Alltagskontext („Chemie im Kontext“-Hypothese 1)

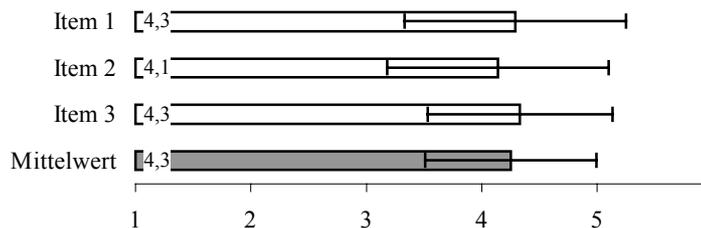


Abbildung 35: Empfindung, ob der Unterricht in den Alltagskontext eingebettet war (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Im Unterricht wurde etwas behandelt, was in meiner normalen Lebenswelt vorkommt.“

Item 2: „Der Unterricht hatte mit meinem Alltag nichts zu tun.“ (rekodiert)

Item 3: „Im Unterricht kamen Dinge aus dem täglichen Leben vor.“

Der Unterricht war nach Meinung der Schülerinnen und Schüler in den Alltagskontext eingebettet. Die drei Items und der Mittelwert lagen über 4, also zwischen „stimmt eher“ und „stimmt völlig“. Die Prämisse der „Chemie im Kontext“-Hypothese 1 ist also erfüllt. Unterschiede zwischen den Geschlechtern waren nicht zu verzeichnen. Auffällig ist, dass alle Items im hohen Bereich dicht zusammen liegen und geringe Standardabweichungen haben.

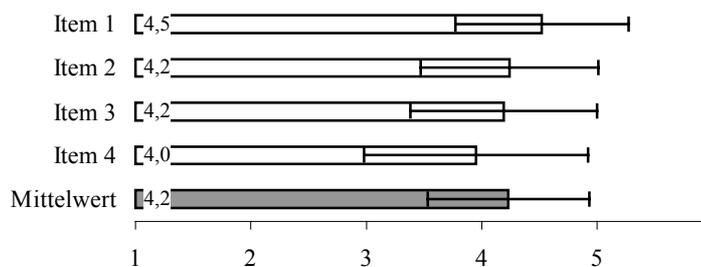


Abbildung 36: Interesse an einem in Alltagskontexten verankerten Unterricht (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Ich finde es interessant, ein Thema aus dem Alltag zu behandeln.“

Item 2: „Mich motiviert es mehr, wenn im Unterricht Themen behandelt werden, die ich nur aus der Chemie kenne.“ (rekodiert)

Item 3: „Wenn ich einen Zusammenhang zwischen Unterricht und meinem Alltag erkenne, steigt mein Interesse.“

Item 4: „Im Chemie-Unterricht bin ich an speziell chemischen Themen interessiert und nicht an Alltagsthemen.“ (rekodiert)

Das Interesse an einem in Alltagskontexten verankerten Unterricht ist bei den Schülerinnen und Schüler hoch. Der Mittelwert liegt bei 4,2, und die Werte der einzelnen Items befinden sich auch in diesem Bereich. Die „Chemie im Kontext“-Hypothese 1 kann somit als bestätigt angesehen werden, die Schülerinnen und Schüler empfanden die Unterrichtsreihe als alltagsnah (entsprechend der Dominanz praktischer Anwendungen bei den Inhalten) und zeigten sich daran hoch interessiert (entsprechend der Favorisierung praktischer Verwendungen).

Vielfalt der Unterrichtsformen („Chemie im Kontext“- Hypothesen 5 und 6)

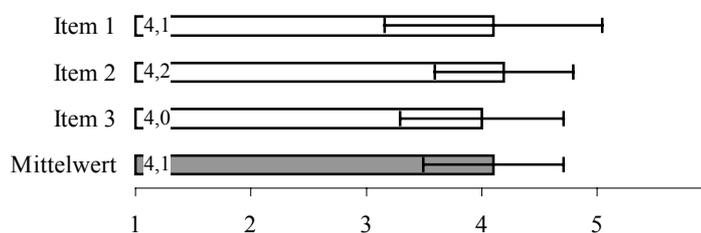


Abbildung 37: Empfindung, ob die Unterrichtsformen vielfältig waren (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Es kamen verschiedene Unterrichtsformen zum Einsatz.“

Item 2: „Der Unterricht lief meistens nach demselben Schema ab.“ (rekodiert)

Item 3: „Die Unterrichtsformen waren abwechslungsreich.“

Die Unterrichtsformen wurden von den Schülerinnen und Schüler als vielfältig empfunden. Die Werte der einzelnen Items und der Mittelwert liegen zwischen 4,0 und 4,2, also im Bereich von „stimmt eher“. Die Prämissen der „Chemie im Kontext“-Hypothesen 5 und 6 sind damit erfüllt. Unterschiede zwischen Mädchen und Jungen traten nicht zutage. Auffallend sind die fast gleich hohen Werte und die geringen Standardabweichungen.

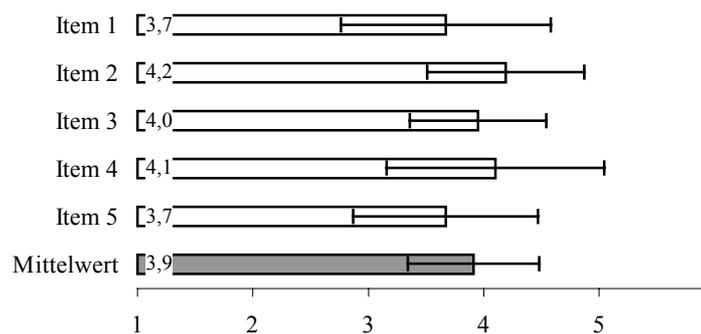


Abbildung 38: Interesse an vielfältigen Unterrichtsformen (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Durch die Vielfalt der Unterrichtsformen hatte ich einen besseren Zugang zum Thema.“

Item 2: „Dass die Unterrichtsformen so vielfältig waren, hat den Zugang zum Thema erschwert.“ (rekodiert)

Item 3: „Ich finde es motivierend, dass verschiedene Unterrichtsformen zum Einsatz kamen.“

Item 4: „Ich kann mich leichter in ein Thema einarbeiten, wenn der Unterricht stets nach demselben Schema abläuft.“ (rekodiert)

Item 5: „Die Vielfalt der Unterrichtsmethoden hat mein Interesse gesteigert.“

Die Vielfalt der Unterrichtsformen trifft bei den Schülerinnen und Schülern auf Zustimmung. Die Werte der fünf Items lagen zwischen 3,7 und 4,2, also im Bereich von „stimmt eher“, der Mittelwert lag bei 3,9 auf. Die „Chemie im Kontext“- Hypothesen 5 und 6 können demnach als bestätigt angesehen werden, die Schülerinnen und Schüler empfanden die Unterrichtsformen als vielfältig und hatten daher einen leichteren Zugang zum Thema sowie ein gesteigertes Interesse.

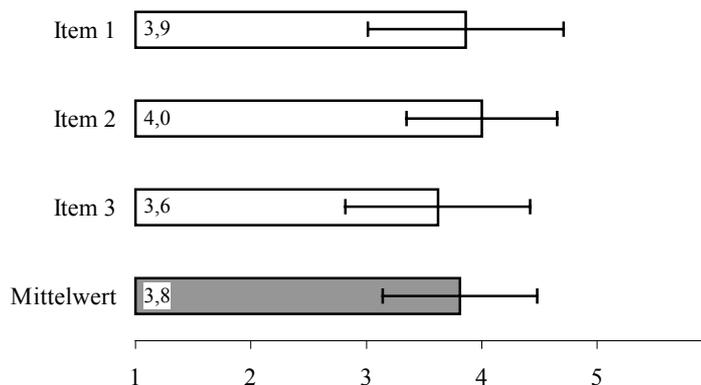
Eigentätigkeit und Kommunikation („Chemie im Kontext“- Hypothese 8)

Abbildung 39: Empfindung, ob ein hohes Maß an Eigentätigkeit und damit verbundene Kommunikationsmöglichkeiten vorlagen (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Wir haben vieles eigenverantwortlich erledigt.“

Item 2: „Als wir eigenverantwortlich gearbeitet haben, haben wir viel miteinander kommuniziert.“

Item 3: „Wir haben vieles selbst erarbeitet.“

Nach überwiegender Meinung der Schülerinnen und Schüler lagen ein hohes Maß an Eigentätigkeit und damit verbundene Kommunikationsmöglichkeiten vor. Die drei Items erreichten Werte zwischen 3,6 und 4,0, also zwischen „teils/teils“ und „stimmt eher“. Der Mittelwert lag bei 3,8. Die Prämisse kann damit als erfüllt eingestuft werden. Geschlechtsspezifische Unterschiede traten hierbei nicht auf.

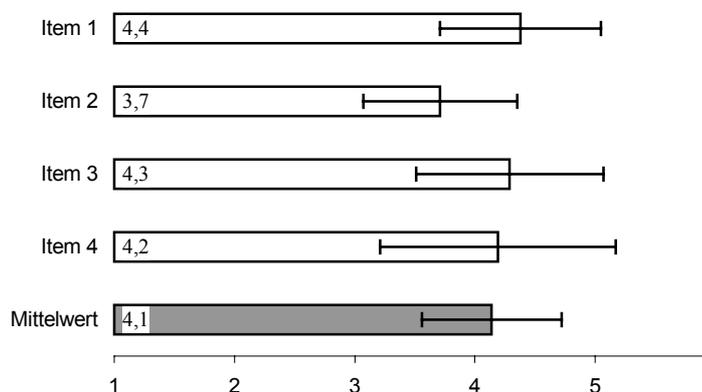


Abbildung 40: Interesse an einem Unterricht mit einem hohen Maß an Eigentätigkeit und damit verbundenen Kommunikationsmöglichkeiten (mit Standardabweichungen).

Item 1: „Mir hat es gefallen, beim Erarbeiten mit den anderen zu kommunizieren.“

Item 2: „Dass wir beim eigenverantwortlichen Lernen Erfahrungen und Wissen ausgetauscht haben, fand ich motivierend.“

Item 3: „Ich finde es interessant, eigenverantwortlich zu arbeiten und mich mit den anderen auszutauschen.“

Item 4: „Ich lerne lieber alleine, also ohne Gespräche mit den anderen.“ (rekodiert)

Unterricht mit einem hohen Maß an Eigentätigkeit und damit verbundenen Kommunikationsmöglichkeiten stößt bei den Schülerinnen und Schüler auf Interesse. Der Mittelwert lag bei 4,1, die einzelnen Items durchschnittlich zwischen 3,7 (Item 2) und 4,4 (Item 4), also im Bereich von „stimmt eher“. Auch die Hypothese 8 kann damit als bestätigt gelten. Es waren keine Geschlechtsunterschiede festzustellen. Es fällt auch hier wieder auf, dass alle Werte im hohen Bereich liegen und geringe Standardabweichungen zeigen. Insgesamt beinhaltete der Unterricht nach überwiegender Meinung der Schülerinnen und Schüler ein hohes Maß an Eigentätigkeit und damit verbundene Kommunikationsmöglichkeiten. Dies wurde positiv aufgenommen, was sich mit den Bewertungen der Gruppenarbeitsphase deckt.

Lehrperson als Lernberater („Chemie im Kontext“- Hypothese 9)

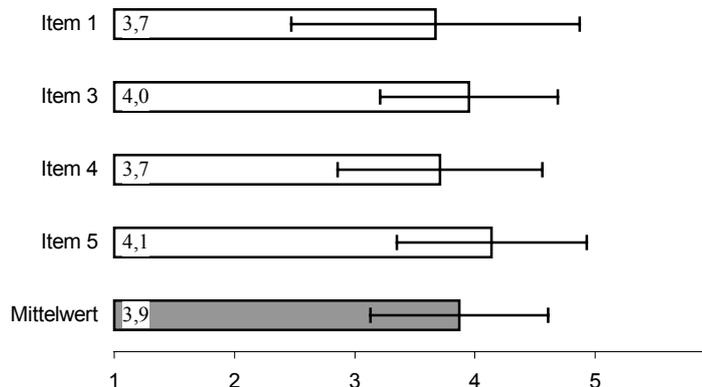


Abbildung 41 Empfindung, ob die Lehrperson Moderator und Lernberater war (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Die Lehrperson ist als ‚Lernberater‘ statt als Lehrer aufgetreten.“

Item 3: „Die Lehrperson hat uns beim Erarbeiten des Stoffs beraten, anstatt uns das Wissen einfach weiterzugeben.“

Item 4: „Die Lehrperson hat uns den Stoff selbst erarbeiten lassen.“

Item 5: „Die Lehrperson hat uns beim Erarbeiten des Stoffs geholfen und beraten.“

Nach überwiegender Einschätzung der Schülerinnen und Schüler ist die Lehrperson als Moderator und Lernberater aufgetreten. Der Mittelwert lag bei 3,9, die einzelnen Items zwischen 3,7 und 4,1, also im Bereich von „stimmt eher“. Somit kann die Prämisse Hypothese 9 als erfüllt gelten. Geschlechtsunterschiede gab es nicht. Auffallend ist, dass alle Werte im hohen Bereich liegen und (mit Ausnahme von Item 1) geringe Standardabweichungen haben.

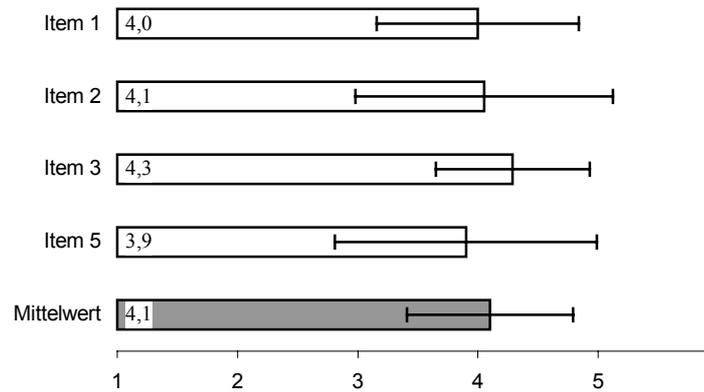


Abbildung 42: Akzeptanz der Lehrperson als Moderator und Lernberater durch die Schülerinnen und Schüler (mit Standardabweichungen)

Item 1: „Ich kam gut damit klar, dass die Lehrperson eher als ‚Lernberater‘ als Lehrer aufgetreten ist.“

Item 2: „Ich finde es schlecht, dass wir uns den Stoff selbst erarbeiten mussten.“ (rekodiert)

Item 3: „Mir hat gefallen, dass die Lehrperson uns beim Erarbeiten des Stoffs geholfen und beraten hat.“

Item 5: „Ich akzeptiere die Rolle der Lehrperson als ‚Lernberater‘.“

Die Rolle der Lehrperson als Moderator und Lernberater wird von den Schülerinnen und Schülern akzeptiert. Der Mittelwert betrug 4,1, die einzelnen Items zwischen 3,9 und 4,3, also im Bereich von „stimmt eher“. Die Hypothese bezüglich einer Rolle der Lehrperson kann demnach als bestätigt angesehen werden. Es waren keine Geschlechtsunterschiede zu verzeichnen.

8.10 Zusammenfassung und Interpretation

Unter den Inhalten der Unterrichtsreihe hinterließen die praktischen Anwendungen der SAP in Industrie und Alltag bei den Schülern und Schülerinnen den tiefsten Eindruck. Dementsprechend wurde der Abstraktionsgrad des Themas als gering eingestuft. Auch unter den „besonders interessanten“ Aspekten des Themas dominierten die Verwendungen, gefolgt von den Eigenschaften und der Funktionsweise der SAP. Folgerichtig hätten die meisten Schüler und Schülerinnen die Verwendungen lieber ausführlicher behandelt. An zweiter Stelle wurde Struktur/Aufbau/Theorie genannt. Zwei Drittel der Schüler und Schülerinnen glauben, dass die superabsorbierenden Polymere für ihr Leben von Bedeutung sind, weil sie im Alltag eine Rolle spielen und „man daher darüber Bescheid wissen sollte“. Dementsprechend sollte das Thema in der Schule behandelt werden, wohingegen es allgemein weniger wichtig erscheint. Der Anspruch, moderne chemische Aspekte schülernah in dem beschriebenen Lernzyklus umzusetzen, scheint insgesamt gelungen.

Das Interesse am Thema war deutlich positiv. Eine Ausnahme bildete das Item über eine zusätzliche Aktivität in der Freizeit. Demgemäß wurden solche Aktivitäten bei der außerunterrichtlichen Beschäftigung mit dem Thema weitaus seltener genannt als „ich habe mich mit anderen Leuten über dieses Thema unterhalten“ oder „ich habe über bestimmte Aspekte weiter nachgedacht“. Die gleiche Einstellung tritt bei der Erhebung der motivierenden Wirkung der einzelnen Experimente zutage.

Die Gruppenarbeit wurde insgesamt positiv aufgenommen. Zusammenarbeit, Gespräche, eigenverantwortliche Tätigkeit und Klima wurden gut bewertet. Der Lernerfolg während der Gruppenarbeit wurde überwiegend ebenfalls positiv beurteilt, wobei knapp ein Drittel der Schüler und Schülerinnen Defizite bei Vorbereitung, Erkenntnisgewinn und theoretischen Grundlagen monierten. Die eigene Präsentation, das kooperative Verhalten und die Selbstständigkeit wurden positiv bewertet. Interesse an den Präsentationen war überwiegend ebenfalls vorhanden. Auch der Erkenntnisgewinn von anderen Gruppenergebnissen wurde vorwiegend positiv beurteilt, obgleich vereinzelt Kritik daran geäußert wurde. Hier kommt sicherlich die mangelnde Erfahrung im Präsentieren zum Tragen. Ähnliche Empfindungen wurden auch in anderen Veröffentlichungen nach Gruppenarbeitsphasen innerhalb von

Lernzyklen von Schülern und Schülerinnen genannt.¹⁸⁶ Die mangelnde Erfahrung könnte durch ein gezieltes Erweitern der Methodenkompetenz mit häufigerem Einsatz von kooperativen Arbeitsmethoden, wie es in der Konzeption „Chemie im Kontext“ gefordert wird, ausgeglichen werden.

Die Schüler und Schülerinnen empfanden die Unterrichtsreihe als alltagsnah und zeigten sich daran hoch interessiert. Damit konnte die „Chemie im Kontext“- Hypothese 1 in Bezug auf den Alltagskontext bestätigt werden. Auch die Hypothesen 5, 6 und 8 wurden in Bezug auf diesen Lernzyklus verifiziert: Die Lernenden empfanden die Unterrichtsformen als vielfältig und hatten daher einen leichteren Zugang zum Thema sowie ein gesteigertes Interesse an den Unterrichtsinhalten. Der Unterricht beinhaltet nach überwiegender Meinung der Lernenden ein hohes Maß an Eigentätigkeit und damit verbundene Kommunikationsmöglichkeiten. Dies wurde positiv aufgenommen, was sich mit den Bewertungen der Gruppenarbeitsphase deckt.

Schließlich wurde auch die Hypothese 9 der Konzeption „Chemie im Kontext“ bestätigt: Die Lehrperson ist nach Meinung der Lernenden überwiegend als Lernberater und Moderator aufgetreten und dieses Rollenverhalten wurde von den Schülern und Schülerinnen zudem begrüßt. Geschlechtsunterschiede traten zwar bei den Beurteilungen teilweise auf, waren jedoch auf einzelne Items beschränkt und ergaben kein konsistentes Bild. Unterschiede in den Einstellungen von Mädchen und Jungen zur Unterrichtsreihe (wie z.B. beim Interesse) konnten also nicht nachgewiesen werden. Schaut man sich in diesem Zusammenhang Untersuchungen über Mädchen und Jungen im Chemieunterricht an¹⁸⁷, so werden dort erhebliche Unterschiede beim Interesse, der Experimentierkompetenz und vielen weiteren Parameter festgestellt. Insofern lassen die fehlenden Unterschiede den indirekten Schluss zu, dass der Unterricht beide Geschlechter gleich erreicht hat und somit den Anspruch eines mädchengerechten Unterrichts erfüllt.

Einige Items in den Bereichen Gruppenarbeit, Präsentation der Gruppenergebnisse und „Chemie im Kontext“-Hypothesen zeigen auffällig hohe Werte und dementsprechend

¹⁸⁶ Huntemann & Haarmann & Parchmann, 2000, S 134

¹⁸⁷ Köhler-Krützfeldt, 2001b, S. 132

geringe Standardabweichungen. Dies deutet darauf hin, dass diese Items im testtheoretischen Sinn zu leicht waren, also von zu vielen Befragten volle Zustimmung erhielten. Dieser so genannte „Deckeneffekt“ wirkt sich reduzierend auf die Trennschärfe aus. Bei einem erneuten Einsatz des Fragebogens wäre zu erwägen, die Formulierungen der entsprechenden Items zu überarbeiten. Bei allen Betrachtungen der Ergebnisse muss zudem immer die geringe Stichprobe von $N = 26$ berücksichtigt werden.

8.11 Ergebnisse der Vortests

Aus diesem Grund erscheint mir eine genauere Betrachtung der Ergebnisse aus den Vortests als Ergänzung sinnvoll, wo andere Gruppen, aber mit den gleichen Voraussetzungen, vorhanden waren. Es handelte sich um drei Gruppen, einem Berliner Grundkurs Chemie mit sieben Schülern und Schülerinnen (Gruppe 1), einem Leistungskurs mit sieben Schülern und fünf Schülerinnen aus Baden-Württemberg (Gruppe 2) sowie einer Mädchengruppe (Gruppe 3), die an der Universität unterrichtet wurde und die die gleichen Experimente durchführten (siehe auch Beschreibung zu den Vortests).

Tabelle 4: Vergleich von Resultaten aus den drei Voruntersuchungen mit den Ergebnissen aus der Hauptuntersuchung.

+ Resultate stimmen überein. – Resultate weichen deutlich voneinander ab.
0 weder Übereinstimmung noch deutliche Abweichung. / Es liegen keine Resultate vor.

| Hauptuntersuchung | Voruntersuchungen | | |
|---|--------------------------|-----------------|-----------------|
| | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
| Einzelne Experimente | | | |
| Affektive Einstellung gut | / | + | + |
| Motivierende Wirkung z. T. vorhanden, Bereitschaft zu außerunterrichtlicher Eigenaktivität gering | / | + | + |
| Anschaulichkeit hoch | / | + | + |
| Fachlicher Gehalt vorhanden | + | + | + |
| Klärende Wirkung vorhanden | + | + | + |
| Komplexität gering | / | + | + |
| Subjektive Gefährlichkeit gering | / | + | + |
| Versuchsanleitung gut bis auf Sicherheits- und Entsorgungshinweise | + | + | + |
| Quantität: Grundsätzlich sollte mehr experimentiert werden; hier war aber genug Zeit | + | + | + |
| Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ herausragend | / | / | 0 |
| Experimente „Osmose“ und „Pufferwirkung“ am zurückhaltendsten bewertet | / | / | + |

Für den Vergleich der einzelnen Experimente konnten alle drei Gruppen einbezogen werden, bei Gruppe I war der Vergleich von vier Aspekten der Experimente erlaubt (fachlicher Gehalt, klärende Wirkung, Quantität und Versuchsanleitungen). Die hier erzielten Resultate bestätigen im hohen Maße die Ergebnisse der Hauptuntersuchung,

mit der einen Ausnahme, dass das Experiment „Wirkung von pH-Wert auf Gelvolumen“ einen geringeren Eindruck hinterlassen hat

Für den Vergleich zur kompletten Unterrichtseinheit konnten nur die Ergebnisse von Gruppe I und III hinzu gezogen werden; für Gruppe II wurden für die Beurteilung des Lernzyklusses keine Daten erhoben.

| Hauptuntersuchung | Voruntersuchungen | | |
|---|--------------------------|-----------------|-----------------|
| | Gruppe 1 | Gruppe 2 | Gruppe 3 |
| Komplette Unterrichtsreihe | | | |
| Dominanz der praktischen Anwendungen | | | |
| a) Nennung bei den Inhalten | a) + | / | a) - |
| b) Nennung als besonders interessant | b) + | | b) + |
| c) Wunsch nach ausführlicherer Behandlung | c) 0 | | c) - |
| SAP vor allem in Alltag und Allgemeinwissen relevant | + | / | + |
| Interesse am Thema vorhanden, Bereitschaft zu außerunterrichtlicher Eigenaktivität gering | + | / | + |
| Abstraktionsgrad niedrig | + | / | + |
| Gruppenarbeit insgesamt positiv | + | / | + |
| Präsentation der Gruppenergebnisse insgesamt positiv | + | / | + |

Erstaunlich auch hier, dass die Ergebnisse fast vollkommen mit den Ergebnissen der Hauptuntersuchungen übereinstimmen. Abweichungen von den Resultaten der Hauptuntersuchung ergeben sich lediglich darin, dass die praktischen Anwendungen der superabsorbierenden Polymere in der Beurteilung der Schülerinnen weniger hervorstechen.

Auch hinsichtlich der Hypothesen wurde ein Vergleich zwischen den Ergebnissen der Vortests und der Hauptuntersuchung gezogen. Für diesen Vergleich konnten die Ergebnisse der Gruppen 1 und 3 benutzt werden. Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis.

| Bestätigung der ChiK-Hypothesen ¹⁸⁸ | | |
|--|-------------|-------------|
| Nr. 1: Alltagsbezug | Nr. 1: + / | Nr. 1: + |
| Nr. 5, 6: Vielfalt der Unterrichtsformen | Nr. 5, 6: + | Nr. 5, 6: + |
| Nr. 8: Eigentätigkeit und Kommunikation | Nr. 8: + | Nr. 8: + |
| Nr. 9: Lehrer als Moderator und Lernberater | Nr. 9: / | Nr. 9: + |

Zusammenfassend kann man feststellen, dass die Resultate der Voruntersuchungen mit insgesamt 29 Schülern und Schülerinnen weitestgehend die Feststellungen aus der Hauptuntersuchung bestätigen, so dass die erzielten Ergebnisse auf einer breiteren Basis gründen. Trotz alledem wäre aus statistischen Gesichtspunkten eine noch breitere Stichprobe erstrebenswert.

¹⁸⁸ In der ersten Voruntersuchung wurden nur die *Prämissen* der Hypothesen überprüft, nicht jedoch die Hypothesen selbst.

9 Evaluation durch Gruppendiskussion

Als Instrument der modernen empirischen Sozialforschung spielen Gruppendiskussionen schon lange eine Rolle. Die Konzeption basiert auf Arbeiten des Frankfurter Instituts für Sozialforschung von Mangold und Pollock in den fünfziger Jahren. Seit diesem Zeitpunkt hat das Verfahren bis zur heutigen Zeit Akzentverschiebungen aufgrund sich verändernder methodologischer Perspektiven erfahren. So definiert Lamnek 1995 das Verfahren folgendermaßen: „Allgemein kann man die Gruppendiskussion als Gespräch einer Gruppe zu einem bestimmten Thema unter Laborbedingungen auffassen“¹⁸⁹. Laborbedingungen bedeutet dabei, dass in der Regel für die Diskussionsteilnehmer keine gewohnte, natürliche Umgebung vorliegt. Morgan bietet die folgende grundsätzliche Definition der Methode an: „Die Gruppendiskussion ist eine Erhebungsmethode, die Daten durch die Interaktionen der Gruppenmitglieder gewinnt, wobei die Technik durch das Interesse des Forschers bestimmt wird.“¹⁹⁰ Der Einsatz der Gruppendiskussion als Datenerhebungsmethode ist mit unterschiedlicher Zielsetzung verbunden. Koowijk & Wieken-Mayser unterscheiden hinsichtlich der Methode des Interviews zwischen einer *ermittelnden* und einer *vermittelnden* Variante.

Im Mittelpunkt der vermittelnden Form ist durch Befragung eine Verhaltensänderung seitens der Befragten zu bewirken. Vermittelnde Gruppendiskussionen spielen in erster Linie in der Handlungs- oder Aktionsforschung eine Rolle. Eine Gruppendiskussion wird dabei geführt, um z.B. bestimmte Dinge ins Bewusstsein der Teilnehmer zu heben und nicht, um herauszufinden, ob ihnen diese Dinge bewusst sind. Bei der ermittelnden Form steht die Ermittlung bestimmter Angaben im Vordergrund. Ermittelnde Gruppendiskussionen stellen darauf ab, Informationen und Befunde substanzieller Art über die gruppendynamischen Prozesse, die zu diesen Ergebnissen führen, zu erzielen¹⁹¹. Dazu gehören die Ermittlung der Meinung bzw. der Einstellungen einzelner

¹⁸⁹ Lamnek, 1995, S.134

¹⁹⁰ Morgan, 1977

¹⁹¹ Lamnek, 1995b, S.134.

Teilnehmer oder Teilnehmerinnen in der Gruppensituation oder der ganzen Gruppe, die Erforschung gruppenspezifischer Verhaltensweisen, die Erkundung der den Meinungen und Einstellungen zugrunde liegenden Bewusstseinsstrukturen oder die Gruppenprozesse, die zur Bildung einer bestimmten *individuellen oder Gruppen-*Meinung führen.

Neben der Eignung zur Untersuchung gruppeninterner Abläufe können auch mittels Gruppendiskussionen Gruppenmeinungen erfasst werden. Hierbei wird die Diskussionsgruppe vom Diskussionsleiter dazu veranlasst, forschungs- und gruppenrelevante Gegenstände zu diskutieren. Die Zielsetzung der Gruppendiskussion ist in diesem Fall, eine einheitliche Gruppenmeinung zu dem vorgegebenen Diskussionsgegenstand zu ermitteln, die von allen oder mindestens der Majorität der Mitglieder der Diskussionsgruppe befürwortet oder akzeptiert wird.

Werden Gruppendiskussionen zum Zwecke der Informationsermittlung eingesetzt, so geht es um *individuelle* Meinungen, Attitüden, Intentionen etc., die in der Gruppe geäußert und diskutiert werden. Daraus werden dann Rückschlüsse auf tatsächliche Verhältnisse gezogen. Entscheidender Vorteil dabei ist, dass die individuelle Meinung in der Gruppendiskussion durch die gegenseitige Stimulierung deutlicher zum Vorschein kommt als bei Interviews, die in einer isolierten Situation durchgeführt werden.

Im Vorfeld von empirischen Studien werden Gruppendiskussionen auch zur Exploration des Forschungsfeldes benutzt. Die Gruppendiskussion als Pretest-Methode für Erhebungsinstrumente hat den zusätzlichen Vorteil, dass nicht nur Mängel und Probleme erkannt, sondern dass auch in einem gleichzeitigen Brainstorming-Prozess Verbesserungsvorschläge entwickelt werden können. Da empirische Erkenntnisse immer auch methodenabhängig sind, können durch den Einsatz der Gruppendiskussion andere Methoden und daraus gewonnene Erkenntnisse komplementiert, relativiert oder gar korrigiert werden. Zudem können Aussagen aus Gruppendiskussionen dazu dienen, Befunde quantitativ-statistisch angelegter Studien zu illustrieren und zu verdeutlichen. Außerdem sind Gruppendiskussionen geeignet, im sozialen Feld getroffene Maßnahmen oder Interventionen von den davon Betroffenen gemeinsam beurteilen und bewerten zu lassen. Auch hinsichtlich des Diskussionsgegenstandes sind der Gruppendiskussion

(fast) keine Grenzen gesetzt. Die Methode kann zudem mit sehr verschiedenen Kategorien von Teilnehmern praktiziert werden: Dies alles erklärt, dass die Gruppendiskussion in den verschiedensten Disziplinen einsetzbar ist.

Durch die unterschiedlichen Möglichkeiten des Einsatzes ergeben sich allgemeine und auf den Vergleich mit anderen Methoden bezogene Vor- und Nachteile. Vorteilhaft ist die Gewinnung eines ersten Eindruck über die Variationsbreite von Meinungen, Werten, Konflikten etc.. Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen regen sich gegenseitig zu Äußerungen an und variieren auch die Vielfalt der Themen-Aspekte. Gruppendiskussionen erlauben außerdem Einsichten in Struktur und Prozesse individueller und kollektiver Stellungnahmen, sie können emotionale Hintergründe von Äußerungen und versteckten Annahmen aufdecken. Schließlich können sie auch Lernprozesse initiieren. Im Vergleich zum Einzelinterview erfassen Gruppendiskussionen somit ein breiteres Spektrum von Meinungen und Reaktionsweisen. Sie können in einer entspannteren Atmosphäre durch eine größere Nähe zur alltäglichen Gesprächssituation ökonomischer Material beschaffen.

Dem stehen folgende Nachteile allgemeiner Art wie soziale und sprachliche Barrieren einer gleichmäßigen Beteiligung aller Teilnehmer und Teilnehmerinnen am Gespräch entgegen. Die „Schweiger-Quote“ ist relativ hoch und es bilden sich während des Gesprächsverlaufs oft Meinungsführer heraus. Gruppendynamische Prozesse können sich in den Vordergrund drängen, zu Abschweifungen vom Thema führen und Meinungspolarisierungen schränken die Vielfalt möglicher Äußerungen ein. Dazu kommen im Vergleich zum Einzelinterview die Schwierigkeiten, dass Gruppendiskussionen höhere Anforderungen an die Kooperationsbereitschaft der Teilnehmer und Teilnehmerinnen stellen. Eingriffe des Diskussionsleiters sind kaum zu standardisieren und Einschränkungen in Bezug auf die Auswertung liegen darin, dass auf die einzelnen Gruppenmitglieder bezogene Aussagen allenfalls bedingt möglich sind.

Die Rollen des Moderierenden

Gruppendiskussionen werden in der Regel von Moderatoren bzw. Moderatorinnen geleitet. Bei nicht geführten Gruppendiskussionen übernehmen die Teilnehmer bzw. Teilnehmerinnen temporär und informell Führungs- oder Moderatorenrollen; ihr diesbezügliches Leistungsvermögen soll dabei getestet werden. Jede Gruppendiskussion verläuft in Abhängigkeit von Gegenstand, Ort, Zusammensetzung etc. anders, weshalb der oder die Moderierende relativ flexibel reagieren muss.

Aufgrund der Vielschichtigkeit der Moderatorenrolle können verschiedene Rollen angestrebt werden, als unwissender Laie, als Experte, als Herausforderer; als Schiedsrichter oder sogar als Therapeut. Das Verhalten des Diskussionsleiters bzw. der -leiterin beeinflusst wesentlich Verlauf, Inhalt und mithin Ergebnisse der Gruppendiskussion. Daher sollte er auf jeden Fall methodisch qualifiziert und erfahren sein. Dies zeigt sich insbesondere bei der Auswahl des Grundreizes zur Animation der Diskussion.

Die einfachste Form der Grundreizsetzung besteht darin, einen gegenstandsbezogenen Problemaufriss zu geben oder das Für und Wider eines Sachverhaltes kurz aufzuzeigen. Die diversen Arten von Grundreizen können technisch sehr unterschiedlich realisiert werden, z.B. durch ein Statement des Moderators oder der Moderatorin, durch einen Film(ausschnitt), durch Verlesen eines Zeitungsartikels oder eines (fiktiven) Briefes, durch kontroverse Diskussionsbeiträge, statistische Zahlen oder Schilderung eigenen Erlebens etc.

Erfassung der Gruppendiskussion

Notwendige Voraussetzung jeder Analyse ist die permanente Verfügbarkeit des Datenmaterials. Für jede Auswertung und Interpretation einer Gruppendiskussion ist mithin deren beliebige Reproduzierbarkeit erforderlich. Das bedeutet, dass die Gesprächsbeiträge aufgezeichnet werden müssen, weil es in der Auswertungsphase unabdingbar ist, dass jede beliebige Stelle im Diskussionsverlauf wiederholt aufgerufen werden kann. Deshalb müssen Gruppendiskussionen mit Hilfe technischer Medien aufgezeichnet werden. Wie für jede empirische Methode gilt auch für die Gruppendiskussion der Dreischritt: Datenerhebung, Datenerfassung und -analyse.

Die Datenerhebung erfolgt durch die Durchführung der Gruppendiskussion, die Datenerfassung durch deren Aufzeichnung und die Datenanalyse durch die Techniken der Auswertung und Interpretation. Gruppendiskussionen können entweder auf Tonband oder auf Video mitgeschnitten werden. Hilfreich sind zusätzliche Mitschriften bzw. Notizen durch anwesende Mitarbeiter bzw. Mitarbeiterinnen. In der Regel wird für die Analyse eine Verschriftung des Aufgezeichneten vorgenommen werden. Die Transkripte bilden die wichtigste Grundlage der Auswertung, denn der Text wird primär analysiert und interpretiert. Zusätzlich können Verbales und Nonverbales, Pausen, Reaktionen etc. notiert werden.

Analyse von Gruppendiskussionen

Noch vor Beginn der Analyse selbst stehen schon in der Planungsphase wichtige Entscheidungen an, die den Analyseprozess weitgehend determinieren, z.B. wie viel Zeit für die Analyse zu veranschlagen ist, welche Informationen und Daten zur Verfügung stehen, wie diese Daten organisiert und strukturiert sind und welche Analysen sie zulassen. In Abhängigkeit von Zielsetzung und Erkenntnisabsicht der Gruppendiskussion ergeben sich unterschiedliche Auswertungsmethoden und –techniken. Generell wird zur Auswertung von Gruppendiskussionen auf Auswertungsverfahren zurückgegriffen, die auch im Rahmen von Untersuchungen mit anderen Forschungsmethoden zum Einsatz kommen wie z.B. die Inhaltsanalyse sowie die Beobachtung. Die Auswertung einer Gruppendiskussion kann sowohl unter inhaltlich-thematischen als auch unter gruppendynamischen Gesichtspunkten erfolgen. Auch die Kombination beider Aspekte ist möglich.

In der großen Mehrzahl aller Fälle von Gruppendiskussionen sind die gruppendynamischen Auswertungsstrategien uninteressant und werden daher auch nicht praktiziert. Der Folgetext ist daher auf die inhaltlich– thematischen Auswertungsmöglichkeiten ausgerichtet.

Gruppendiskussionen lassen sich sowohl *deskriptiv*, als abstraktartige Wiedergabe der wesentlichen Inhalte, als auch *reduktiv*, durch die Analyse mit Informations- und Erkenntnisgewinn versehene Befunde bei Reduktion der Datenfülle oder auch *explikativ* derart auswerten, dass der Analyseprozess und sein Ergebnis die vorausgehende Datenbasis quantitativ und qualitativ bei weitem überschreitet. Kombiniert man diese

Analyseformen mit den beiden Erkenntnisinteressen, so ergeben sich sechs Analysestrategien. Ausführlich wird nur die später verwendete Methode näher beschrieben.

Die häufigste Analyseform dürfte die deskriptive, gefolgt von der reduktiven sein. Die reduktive Inhaltsanalyse versucht die Fülle des Datenmaterials so zu reduzieren, dass Informationsgewinn entsteht. Sie bedarf – gleichgültig ob sie statistisch oder typologisch ausgerichtet ist – einer Kategorienbildung. Die diversen, begrifflich unterschiedlich gefassten Einheiten wie Kodiereinheit, Kontext- und Auswertungseinheit etc. indizieren unterschiedliche Analysestrategien und Erkenntnisziele.

Die *Cut-and-Paste-Technik* als deskriptiv-reduktive Analyse (die Arbeit mit Schere und Klebstoff) stellt eine schnelle und ökonomische Methode zur Analyse von Diskussionsprotokollen dar. Die Analyse beginnt bereits, während der Analysator oder die Analysatorin an der Diskussion teilnimmt. Unmittelbar nach Abschluss dieser Diskussion wird ein kurzes Gedächtnisprotokoll geschrieben, welches die wesentlichen Inhalte und Erkenntnisse zusammenfasst. Die Transkription wird für die Gestaltung weiterer Gruppendiskussionen und/oder für die weitergehende Analyse benutzt. Nach der Erstellung einer schriftlichen Zusammenfassung der wesentlichen Befunde sucht man für eine oder mehrere Gruppendiskussionen nach übereinstimmenden und abweichenden Mustern, nach Typen. Dazu benutzt man Kategoriensysteme, die sich induktiv aus den Diskussionen bzw. aus den vorgelagerten Erkenntnisinteressen ergeben. Die Muster und Typen werden durch entsprechende Zitatstellen, die „herausgeschnitten“ und „dazugeklebt“ werden, dokumentiert.

Die statistisch-reduktive Analyse ist eine sehr leicht zu realisierende, wenn die Transkriptionen in digitaler Form vorliegen und entsprechende statistische Software verfügbar ist. Bei der interpretativ-reduktiven Analyse wird zunächst das zu analysierende Material definiert. Der letzte Schritt besteht in der engeren Interpretation, wenn die Einzelbefunde tendenziell generalisiert und Idealtypen gebildet werden.

An die Gruppendiskussion als explizit qualitatives Analyseverfahren müssen Gütekriterien wie Reliabilität und Validität der Datenanalyse angelegt werden.

9.1.1 Gruppendiskussionen in der fachdidaktischen Forschung

Bisher gibt es nur wenige Ansätze, die Gruppendiskussion als Methode im fachdidaktischen Forschungsfeld einzusetzen. Sprod¹⁹² beschreibt die Entwicklung der Methode, um einen nach sozialkonstruktivistischen Prinzipien gestalteten Unterricht zu untersuchen. Es wurden keine inhaltlichen Aspekte des Unterrichts analysiert, sondern der Gebrauch von „scientific reasoning skills“ durch die Schüler und Schülerinnen. Dazu diente ein linguistisches Kategoriensystem. Gilbert und Pope haben in Kleinstgruppen Unterrichtsäußerungen von Schülern und Schülerinnen zum Thema Energie auf ihre Funktion hin untersucht¹⁹³. Sie benutzten dazu ein bestehendes Kategoriensystem. Eybe erforschte im Rahmen seiner Dissertation, inwieweit die Methode relevant für chemiedidaktische Forschung sein kann. Dazu wurden Schülervorstellungen im Klassenverband untersucht und die Möglichkeiten und Grenzen der Methode aufgezeigt. Es liegt jedoch keine Untersuchung bisher vor, inwieweit die Methode geeignet ist, Aspekte einer Unterrichtseinheit zu evaluieren. Auch dies ist ein Ziel dieser Arbeit.

9.1.2 Untersuchungsdesign

Gruppendiskussion darf in der fachdidaktischen Forschung nicht als standardisierte Vorgabe mit festgelegtem Vorgehen verstanden werden, sondern als methodischer Rahmen, der sich an die jeweiligen Gegebenheiten anpassen lässt. Dies erfordert eine detaillierte Beschreibung der Forschungstechnik. Hierzu gehören laut Mayring¹⁹⁴ die Explikation des Vorverständnisses, die Durchführung und Auswertung der Datenerhebung sowie die Zusammenstellung des Analyseinstrumentariums.

Jede der sieben Untersuchungsphasen nach Kvale¹⁹⁵ wurde zwecks Validierung des Vorgehens sorgsam reflektiert. Die Methode wurde dem Untersuchungsgegenstand insofern angepasst, als dass die schulische Umgebung und die Situation der Schüler und Schülerinnen in das Forschungsdesign miteinbezogen wurden.

¹⁹² Sprod, 1997, S. 911ff

¹⁹³ Gilbert & Pope, 1986, S.61ff.

¹⁹⁴ Mayring, 1996, S. 104

¹⁹⁵ Kvale, 1996

In Hinblick auf die Forschungsfragen wurde entschieden, als Grundreiz eine Aufgabe zu nehmen, die den Schülern und Schülerinnen interessant und auch erfüllbar erscheint. Sie sollten einem Mitschüler, der während der gesamten Zeit wegen einer Kursfahrt gefehlt hatte, für einen Test die wichtigsten Grundlagen über Struktur und Eigenschaften der superabsorbierenden Polymere erklären.

Die Aufgabe erfüllt die bei Eybe¹⁹⁶ skizzierte Anforderungen an den Grundreiz: Sie ist offen genug, so dass es viele Wege gibt, sie zu lösen, andererseits auf ein Themenfeld beschränkt. Der Grundreiz bietet Möglichkeiten zur Diskussion, komplexe mathematische oder schematische Lösungsverfahren sind nicht erforderlich bzw. tragen nicht zur Lösung bei. In der Aufgabe sind Elemente enthalten, die eine Visualisierung der Begriffe anregen.

Die Aufgabe selbst wurde mit Hilfe einer Folie auf dem OH-Projektor der Gruppe angeboten:

Situation:

... kommt von der Kursfahrt zurück. Er muss den versäumten Stoff für einen bevorstehenden Test nachholen.



Er möchte einen Spickzettel zur Vorbereitung, auf dem kurz erklärt wird, was superabsorbierende Polymere sind.

Der Spickzettel soll einfach und mit wenigen Begriffen eine möglichst genaue Erklärung liefern.

Die Schülerinnen und Schüler saßen dazu in einem Halbkreis zusammen. Sie hatten eine Tafel und den OH-Projektor zur Verfügung und konnten somit frei darüber

¹⁹⁶ Eybe, 1999, S. 43

entscheiden, welche Aspekte des Themas sie für diskussionswürdig halten. Die Moderatorin bot vorn herein nur methodische, keine inhaltliche Hilfe an.

Es gab an beide Gruppendiskussionen anschließend eine Metadiskussion, in der die Schülerinnen und Schüler angeben konnten, ob sie ihre Argumente in der Diskussion klarmachen konnten. Gleichzeitig war hier auch die Gelegenheit gegeben, die fachlichen Fragen, die auftraten, nochmals zu klären, was insbesondere die zweite Gruppe sehr schätzte, da hier später eine Klausur mit Inhalten dieser Einheit geschrieben wurde. Die Durchführung der Metadiskussion erschien mir insbesondere aus ethischen Gesichtspunkten wichtig, damit die Schülerinnen und Schüler nicht das Gefühl haben sollten, nur als Forschungsobjekte „benutzt“ zu werden.

Ein Vorsatz war es, dass die Moderatorin sich während der Diskussion neutral verhält. Die Interaktion der Schüler und Schülerinnen sollte damit möglichst unbeeinflusst stattfinden. Eine Validierung der Forschungsergebnisse kann über den Prozess der Triangulation stattfinden.

9.1.3 Explikation des Vorverständnisses

In einer Pilotphase wurden Erfahrungen im Umgang mit der Methode gesammelt. Dazu wurden zwei Gruppendiskussionen geplant. Sie wurden von mir als Moderatorin mit Studierenden für das Lehramt Chemie und einer Gruppe von eingeladenen Schülerinnen an der Universität durchgeführt. Es handelte sich hierbei um Gruppengrößen von zwölf bzw. zehn Personen. Die Bedingungen waren auch denen der später durchgeführten Diskussionen insofern sehr ähnlich, als dass sich beide Gruppen vorher intensiv in Theorie und Praxis mit Struktur und Eigenschaften von superabsorbierenden Polymeren auseinander gesetzt hatten. Nach der Planung und Durchführung der jeweiligen Gruppendiskussion schloss sich eine Phase der Reflexion an, sodass die Erfahrungen aus dem Verlauf mit einfließen konnten und der Einsatz dieser Methode für den oben skizzierten Forschungsansatz in einem zyklischen Prozess entwickelt wurde.

9.1.4 Durchführung der Datenerhebung

Die dokumentierten Gruppendiskussionen wurden mit einem Grund- und einem Leistungskurs zwei Berliner Gymnasien im November und Dezember 2000 durchgeführt. Der Kontakt zu den Gruppen kam über die Lehrer und Lehrerinnen zustande, die an Fortbildungsveranstaltungen der Freien Universität Berlin teilgenommen hatten. Beide Gruppen hatten zuvor an der Unterrichtseinheit über superabsorbierende Polymere teilgenommen. Sämtliche Schülerinnen und Schüler nahmen freiwillig an der Gruppendiskussion teil und es wurde ihr Einverständnis, auch für die technische Aufzeichnung, eingeholt. Damit sie wussten, wozu sie sich bereit erklären, wurden sie vorab von mir im Sinne des „informed consent“¹⁹⁷ über Vorgehensweise und Ziel der Studie informiert. Es wurde zugesichert, dass alle Daten anonymisiert werden, damit keinerlei Rückschlüsse auf bestimmte Personen möglich sind. Die Diskussion wurde über 30 Minuten mit zwei Videokameras in Räumen der jeweiligen Schule durchgeführt.

¹⁹⁷ Brickhouse & Tobin, 1992, S. 93

Die Gruppendiskussionen liefen nach folgender Struktur ab, die eine leicht abgewandelte Version von Mayring darstellt und sich nach Eybe¹⁹⁸ für Unterrichtsbeobachtungen bewährt hat:

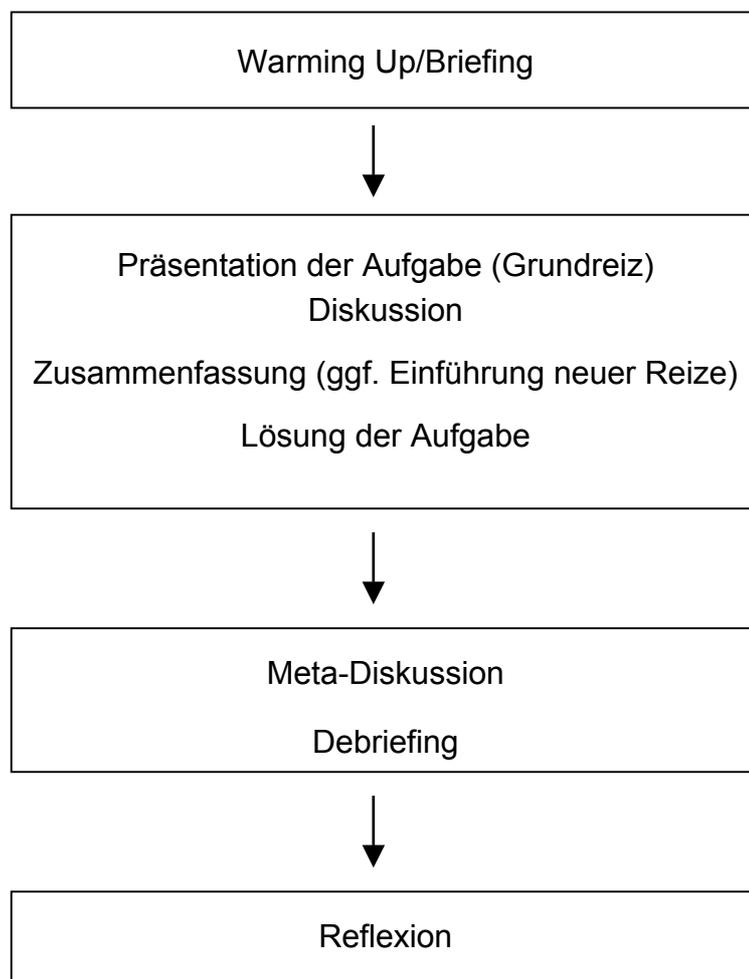


Abbildung 43: Der Verlauf der Gruppendiskussion (verändert nach Mayring und Eybe)

Das *warming up* bzw. *briefing* konnte sehr kurz gehalten werden, da die Schülerinnen und Schüler aufgrund der zuvor durchgeführten Beobachtung der Unterrichtsstunden sowie der Befragung zu diesen Stunden bereits einige Informationen zu der Gruppendiskussion (wie z.B. Gegenwart von Kameras und Mikrofon und Zweck der

¹⁹⁸ Eybe, 1999, S. 36

Diskussion) ein paar Tage zuvor erhalten hatten. So hatten sie auch länger Zeit, über eine Teilnahme an der Diskussion nachzudenken. Es schloss sich aber in beiden Gruppen niemand aus. Die Moderatorin war ihnen durch die vorher durchgeführte Unterrichtseinheit bekannt, so wurden im *briefing* nur kurz die Art und Länge des Gesprächs erläutert. Die Schülerinnen und Schüler wurden nicht mit Namensschildern versehen, weil sie erstens der Moderatorin bereits (durch vorangegangenen Unterricht) bekannt waren und zweitens die Forschungsfrage kein Beziehen der Schüleräußerungen auf einzelne Schüler oder Schülerinnen notwendig machte.

Der Hauptteil wurde durch die Präsentation des Grundreizes initiiert. Die Moderatorin las die Aufgabe vor und stand für eventuelle Fragen zur Verfügung. Dann zog sie sich an das Ende des Halbkreises zurück. Die Diskussion wurde von den Teilnehmenden frei durchgeführt. Sie wurden nur zwischendurch zur Zusammenfassung des Gesagten gebeten. In einer Gruppe wurde durch die Einführung neuer Reize die Diskussion in Schwung gehalten, in der anderen war dies aufgrund der Lebhaftigkeit während der Diskussion nicht nötig. Das Ende der Diskussion stellte die Lösung der Aufgabe dar.



Bild 1: Gruppendiskussionsphase der Gruppe 2

Nach einer kurzen Pause fand jeweils eine *Metadiskussion* über die Gruppendiskussion statt. Diese wurde im Gegensatz zu Eybes Untersuchungen nicht aufgezeichnet, da sich

dadurch die Schülerinnen und Schüler unbefangener über eventuelle Kritik oder Missverständnisse äußern konnten. Die Schülerinnen und Schüler der ersten Gruppe nutzten diese Phase sehr intensiv zu Nachfragen über die Methode, während bei der zweiten Gruppe die Klärung von aufgetretenen fachlichen Fragen im Vordergrund stand. Mit einem *Debriefing* wurde das Verfahren insgesamt abgeschlossen, es wurde ein Dank an die Teilnehmenden ausgesprochen und das Ende der Diskussion signalisiert. In der anschließenden *Reflexion* war es nun den teilnehmenden Lehrern und Lehrerinnen möglich, Kommentare bzw. Stellungnahmen abzugeben, da sie vorher in den Prozess der Diskussion nicht mit eingebunden waren.

9.1.5 Analyse der Datenerhebung

Das Datenmaterial besteht aus den Videomitschnitten und Gesprächsnotizen, die direkt nach der Diskussion von der Moderatorin angefertigt wurden.

In den Protokollen ist ein ungefährender Zeitcode enthalten, so dass ein Rückgriff auf das Ursprungsmaterial bei Unklarheiten oder Rückfragen jederzeit möglich ist.

Ausgangspunkt der Analyse ist die Frage, inwieweit die Schülerinnen und Schüler die kognitiven Lernziele des durchgeführten Lernzyklusses zum Thema superabsorbierende Polymere erreicht haben. Ein Ziel dieser Analyse wird die Bildung eines Vergleiches zwischen dem im Unterricht durchgearbeiteten SAP-Themenkomplex und dem Gruppenwissen der Schülerinnen und Schüler werden. So ist es interessant zu erfahren, welche Aspekte die Schülerinnen und Schülern besonders wichtig hielten, um sie zu erwähnen. Aus dieser Fragestellung lassen sich gleichzeitig die unerwähnten Bereiche ableiten. Darüber soll untersucht werden, ob die angesprochenen Themen inhaltlich einwandfrei wiedergegeben werden und in welchem Ausmaß fachliche Fehler hervortreten.

Den Grundreiz der Diskussion bildete eine von der Moderatorin vorgelesene und zusätzlich auf einer Overheadfolie visualisierte Fragestellung, die oben beschrieben wurde. Die Aufgabe der beiden Chemiekurse war es nun, dem betreffenden (imaginären) Mitschüler den Begriff der superabsorbierenden Polymere so zu erläutern, dass er anschließend eine bevorstehende Klausur ohne große Schwierigkeiten bewältigen könne.

In beiden Gruppendiskussionen konnte eine große Menge an gut auszuwertendem Datenmaterial zusammengetragen werden. Aufgrund der Fülle der angesprochenen Aspekte wurde zunächst versucht das gesamte Material zu systematisieren. Die Bildung von Kategorien aus den gesamten vorgetragenen Gedanken bot dabei ein erleichterndes Hilfsmittel, um den gesamten Komplex zu systematisieren. Zum anderen konnte man nun gezielt die wichtigen fachlichen Beiträge von weniger wichtigen trennen.

Aus der Datenmenge wurden im Sinne der deskriptiv-reduktiven Analyse zwei große Kategorien gebildet. Dem ersten großen Komplex wurde die chemische Struktur der superabsorbierenden Polymere zugeschrieben. Die Äußerungen zu dem Prozess der Wassereinlagerung wurden dem zweiten Komplex zugeordnet.

Nachfolgend sollen als erstes die Ergebnisse der Auswertung zum Kategorienkomplex „chemische Struktur“ beschrieben werden. Diese sind nach den beiden Schülergruppen getrennt dargestellt.

Datenanalyse zum Kategorienkomplex „chemische Struktur“

Gruppe 1

Zur Verdeutlichung und des Verständnisses der chemischen Struktur benutzten die Schülerinnen und Schüler die Tafel als Hilfsgegenstand. Zunächst wurde die Struktur eines SAP wiedergegeben.

S: *„Der Grundbaustein ist ein langkettiges Polymer, also eine lange Kette, an die bestimmte Gruppen angelagert sind.“*

Aus dem Netzwerk der Makromolekülstruktur haben sich die Schülerinnen und Schüler auf einen Teilabschnitt der Molekülkette konzentriert und dieses Modell wurde von einem Schüler in Absprache mit den Mitschülern angezeichnet.

S: *„Wir haben hier eine lange Kohlenstoffkette.“*

Weiterhin sprachen die Schülerinnen und Schüler die an der Kohlenstoffkette befindlichen funktionellen Gruppen an.

S: *„Es ist eine lange Kette, an die bestimmte Gruppen (funktionelle) angelagert sind.“*

S: „Das war halt so, dass wir eine lange Kohlenstoffkette hatten..., wo halt zu 75% an dem C-Atom eine funktionelle Gruppe angelagert war mit COOH und dann war an jedem dritten oder vierten C-Atom eine funktionelle Gruppe mit COO⁻, an der ein Natriumion angelagert war.“

S: „Also, das sind hier Ionen, Natriumionen, die drin vorhanden sind, so dass eine Ionenbindung dazwischen auftritt.“

Im Hinblick auf die chemische Struktur wurde der Kohlenstoffkette seitens der Schüler die funktionellen Gruppen zugeordnet. Diese Gruppe erwähnte die Carboxylgruppen ebenso wie die negativ geladenen Carboxylatgruppen, die durch das positiv geladene Natriumkation ausgeglichen wurden.

Verwechselt wurde an dieser Stelle jedoch, dass die meisten funktionellen Gruppen negativ geladen sind (Carboxylatgruppen) und die Minorität der funktionellen Gruppen lediglich die neutralen Carboxylgruppen bilden. Seitens der restlichen Kursmitglieder wurden keinerlei Einwände erhoben. Die funktionellen Gruppen wurden richtig erwähnt, lediglich die genaue Anordnung und Anzahl der beiden unterschiedlichen funktionellen Gruppen war den Schülern nicht genau bekannt. Die Art der Bindungen wurde korrekt wiedergegeben.

Die Verknüpfungsstellen, die an einigen vereinzelt Stellen die Polymerketten miteinander verbinden, wurden ebenso erwähnt. Dazu wurde an der Tafel eine weitere Kohlenstoffkette angezeichnet, die mit der ersteren durch einen crosslink verbunden wurde.

S: „Dies ist hier ein Quervernetzer- so wird es genannt. Und der ist dafür da, dass diese langen Ketten halt eben zusammengehalten werden.“

S: „Also diese Dinger (Quervernetzer) sind für die Stabilität im Molekül verantwortlich.“

Bei der Diskussion der chemischen Struktur der SAP wurde die Wandtafel zum Visualisieren benutzt. In gemeinsamer Erarbeitung konnten sich die Schülerinnen und Schüler in die gestellte Problemsituation hineinversetzen und so ihrem imaginären Mitschüler Hilfe anbieten. Von der vorgetragenen chemischen Struktur der SAP wurden

bis auf die ungenaue Anordnung der funktionellen Gruppen alle relevanten Aspekte berücksichtigt.

Gruppe 2

In dieser Gruppe wurde nach der Präsentation des Grundreizes der Vorschlag gemacht zunächst den Begriff „superabsorbierend“ zu erklären. Erst dann wollte der Chemiekurs dem imaginären Schüler die chemische Struktur der SAP beschreiben. Zu guter Letzt einigten sich die Schülerinnen und Schüler auf den Vorschlag den Einsatzbereich und die Eigenschaften der superabsorbierenden Polymere zu erwähnen, um so die wichtige und breite Anwendung dieser interessanten Verbindung zu demonstrieren. Die Schülerinnen und Schüler waren der einheitlichen Meinung, dass die chemische Struktur „das Wichtigste“ ist, um dem fehlenden Schüler das Thema am besten zu vermitteln.

Auch in diesem Kurs wurde die Tafel zur Visualisierung der Struktur benutzt. Die Schülerinnen und Schüler beschrieben gemeinsam die chemische Struktur der SAP. Ähnlich wie im ersten Chemiekurs wurde auch an dieser Stelle aus dem Netzwerk der superabsorbierenden Polymere der Modellausschnitt zweier Kohlenstoffketten herausgenommen und durch eine Querverbindung miteinander gekoppelt angezeichnet.

S: *„Das sind unsere Kohlenstoffketten und hier haben wir die Querverbindungen.“*

S: *„Und hier haben wir überall COO^- und Na^+ . Und dann gibt es auch mal noch eine vollständige Gruppe COOH . Das haben wir auf der Gegenseite genauso.“*

Der Ausschnitt der beiden verbundenen Kohlenstoffketten mit dem dazugehörigen funktionellen Gruppen wurde präzise wiedergegeben. Im Vergleich zur ersten Gruppe war sich die Gruppe 2 zunächst einig, dass die Carboxylatgruppen mit dem dazugehörigen Natriumkation die Majorität bilden und lediglich die Carboxylgruppen vereinzelt vertreten sind.

Im Laufe der Diskussion traten jedoch bezüglich der chemischen Struktur ein paar Ungereimtheiten bei zwei Schülern auf.

S: *„Na ja, eigentlich was ein Essential sein müsste, ist, dass es zwei Ketten gibt, die Querverbindungen haben.“*

S: *„Ein Essential eines SAP ist, dass es ein Polymer ist, also eine lange Kette oder vielleicht sogar ein Ringsystem.“*

Die hier gezeigten Äußerungen lassen vermuten, dass bei beiden Schülern falsche Vorstellungen über die Gesamtstruktur eines SAP vorherrschen. Zum einen berichtet der eine Schüler nur von zwei miteinander verbundenen Ketten, im anderen Fall ist sich der Schüler nicht mehr sicher, ob ein SAP aus nur einer Kette oder gar aus einem Ringsystem besteht, was in beiden Fällen nicht der tatsächlichen Gesamtstruktur eines superabsorbierenden Polymers entspricht.

Leider gab es auch in diesem Fall durch die restlichen Gruppenmitglieder keinen Hinweis auf die fehlerhaften fachlichen Vorstellungen, obwohl doch zu Beginn der Gruppendiskussion die chemische Struktur einwandfrei wiedergegeben werden konnte.

Die Verknüpfungspunkte zwischen den Polymerketten wurden zu Beginn richtig erwähnt und auch korrekt angezeichnet.

S: *„Hier haben wir die Querverbindungen. Ich glaube, da war HN drin. Also, dieses HN stabilisiert sozusagen das ganze Molekül.“*

Im späteren Verlauf der Gruppendiskussion stellten sich jedoch seitens des gleichen Schülers widersprüchliche Anzweiflungen bezüglich bestimmter Punkte der chemischen SAP-Struktur heraus.

M: *„Sind die Querverbindungen eine wichtige Sache? Ist es ein Essential oder nicht?“*

S: *„Das ist halt die Frage. Ich denke es wird schon eine Querverbindung geben, ich weiß es nicht. Die müssten ja zusammengehalten werden.“*

Die Gruppe 2 konnte der gestellten Problemsituation recht schnell und präzise gerecht werden. Auch hier verwendeten die Schülerinnen und Schüler einen Modellausschnitt der gesamten SAP-Struktur, um die wichtigsten Elemente zu beschreiben. Es wurden neben den Polymerketten die Verbindungsstellen genannt und angezeichnet. Die Zuordnung der Carboxylat- und Carbonylgruppen wurde im Gegensatz zum ersten Chemiekurs genauer dargestellt. Zwei Schüler können sich nicht ganz der restlichen Gruppenmeinung anschließen. Die fehlerhaften Vorstellungen zur chemischen Struktur wurden von den restlichen Kursmitgliedern nicht korrigiert.

Kategorienkomplex „Prozess der Wassereinlagerung“

Gruppe 1

Im Hinblick auf die zu lösende Aufgabenstellung wurde von den Schülern und der Schülerin als erstes die enorme Absorptionsfähigkeit der superabsorbierenden Polymere erwähnt.

S: *„Ich würde erst mal sagen, was ein SAP ist. SAP haben die Fähigkeit Wasser aufzunehmen- in einem ziemlich hohen Maße. Irgendwie 1g Polymere können 1000 g H₂O aufnehmen. Und das haben wir untersucht.“*

Mit Hilfe der an der Tafel erarbeiteten chemischen Teilstruktur der superabsorbierenden Polymere versuchten die Schülerinnen und Schüler anschließend den Wassereinlagerungsprozess zu beschreiben.

S: *„Das Wasser lagert sich halt als Dipol hier (Acrylatgruppe) ein, als Hydrathülle.“*

S: *„Das ist auch halt eben, was da passiert, dass die (Wassermoleküle) sich hier reinlagern in diese Ketten, speziell halt an diese Carboxylatgruppen und da wird das Wasser gespeichert.“*

Ein Schüler veranschaulichte mit Hilfe der Zeichnung, dass das Wasser in die Lücken und Hohlräume eindringt und diese auffüllt. Mit dem Verweis auf den Dipolcharakter des Wassers wurde einerseits die Solvation der Acrylatgruppen beschrieben, andererseits auch das Festhalten der Wassermoleküle an den Carboxylatgruppen. Bedauerlicherweise wurde das Stichwort der für diesen Prozess verantwortlichen Wasserstoffbrückenbindungskräfte nicht erwähnt.

Die Ladungsverteilung der beschriebenen Carboxylatgruppen war einem Schüler des Kurses noch unverständlich.

S: *„Das (Carboxylatgruppe) ist doch neutral, oder?“*

Ganz offensichtlich irritierte ihn die negative Carboxylatgruppe mit dem dazugehörigen positiven Natriumion.

S: „Das ist ja praktisch in Führungsstrichelchen nur nach außen hin neutral, weil ein Gegenpol (Na^+) dazu da ist.

Aber wenn jetzt weitere positive Ionen da reinkommen, also wenn mehr Natriumionen reinkommen, die würden sich da drum anlagern (Carboxylat-Gruppen), weil sie ja positiv geladen sind.

Eine ganz andere Sichtweise hatte zu diesem Sachverhalt der folgende Schüler.

S: „Also, wenn mehr Wasser vorhanden ist, also gebunden wird, dann werden die Natriumionen schon nach außen herausbefördert....Auf jeden Fall wandern die Natriumionen aufgrund einer geringeren Konzentration von Natriumionen außerhalb der Moleküle nach außen.“

Diese Aussage stimmt mit der Realität nicht überein, denn das SAP-Netzwerk wirkt im destillierten Wasser wie eine semipermeable Wand. Die Wassermoleküle diffundieren aufgrund des osmotischen Gradienten in die Lücken hinein, aber Natriumionen können kaum heraus. Die Natriumionen werden durch Coulombkräfte (ionische Wechselwirkungskräfte) an den Carboxylatgruppen festgehalten.

Diese Aussage wurde von einem anderen Schüler bemerkt und noch mal richtig dargelegt.

S: „...Dann lagert sich da immer mehr Wasser an. Wenn du kein Wasser mehr aufzunehmen hast, also praktisch alles Wasser gebunden ist, dann müssen zwangsläufig die Natriumionen auch da drin sein. Sie können nicht einfach rausfliegen- geht ja gar nicht.

Aber sie sind auf jeden Fall da drin frei beweglich und das Wasser ist da drin ...als Hydrathülle.“

Der Prozess wurde zunächst berichtigt, doch bereits im anschließenden Satz schleicht sich in seine Aussage ein weiterer Fehler ein. Das Festhalten der zusätzlichen Natriumionen an den Carboxylatgruppen mit Hilfe der Coulombkräfte gestattet es den zusätzlichen Natriumionen nicht sich frei beweglich im SAP-Gerüst aufzuhalten.

Beim Prozess der Wassereinlagerung in die superabsorbierenden Polymere zeigten sich neben ein paar fachlichen Fehlern auch Verständnisschwierigkeiten im Chemiekurs 1. Das Wesentliche des Einlagerungsprozesses, das Diffundieren des Wassers in das

Polymer, die Solvatation der Acrylatgruppe und das Festhalten der Wassermoleküle an den Carboxylatgruppen wurde mit Hilfe des Tafelbildes erwähnt und erläutert. Trotz der Schilderung der Anlagerungsprozesse blieben an dieser Stelle die dazugehörigen Fachtermini (osmotischer Gradient, Wasserstoffbrückenbindungen, Coulombkräfte, Gleichgewichtszustand) unausgesprochen. Seitens einiger Schülerinnen und Schüler gab es Unklarheiten bezüglich dem zusätzlichen Auftreten von Natriumionen im SAP. Diese konnten jedoch von den restlichen Kursmitgliedern im Gruppengespräch geklärt werden.

Gruppe 2

Die Schülerinnen und Schüler des zweiten Chemiekurses begannen mit einem ähnlichen Einstieg wie die erste Gruppe.

S: *„Ja also, erst mal würde ich ihm (imaginärer Mitschüler) erklären, dass superabsorbierend sich darauf bezieht, dass diese Stoffe sehr viel Wasser aufnehmen können. Und würde ihm es dann anhand der Strukturformel am Beispiel der superabsorbierenden Polymere, die wir hatten, erläutern.“*

S: *„Und dann vielleicht noch bestimmte Beispiele zeigen und wo es vorkommt.“*

Vor der eigentlichen Erklärung sollte eine Neugierphase den Einstieg in die Wassereinlagerung erleichtern. Die Anwendungsgebiete und die Eigenschaften der superabsorbierenden Polymere sollten als Nachtrag ergänzt werden.

Zum besseren Verständnis wurde der Prozess anhand des Tafelbildes erläutert. Die Vorgehensweise entsprach dabei dem gemachten Vorschlag.

Die Gruppe erläuterte hierzu die Einlagerung und das Ausfüllen der Wassermoleküle in die Hohlräume der Polymere und beschrieb diesen Vorgang recht gut.

S: *„Hier ist eine Kohlenstoffkette mit Carboxylgruppen und das dazwischen eben also an so einer Formel versuchen aufzuzeichnen und erklären eben, dass die Zwischencoulombkräfte wirken und die Wasserstoffbrückenbindung und dass dadurch eben sehr viel Wasser aufgenommen werden kann und so der Stoff Wasser speichern kann und selektiv abgeben kann.“*

Erfreulich waren der Umgang und der Gebrauch von Fachwörtern. Coulombkräfte, Wasserstoffbrückenbindungen, osmotischer Gradient waren bekannte und zur Erklärung der gestellten Aufgabe problemlos benutzte Begriffe. Die Tatsache, dass der Chemiekurs den Umgang mit diesen Begriffen beherrschte, erleichterte die Arbeit der Moderatorin insofern als dass keine zusätzlichen Reize präsentiert werden mussten.

S: *„Dass es, glaube ich, der osmotische Druck ist und dass dadurch Wasser ins Innere gelangt und dadurch Na^+ eben von den Coulombkräften gehalten wird, dass durch die Wasserstoffbrückenbindung das Wasser selber stabil ist.“*

Korrekt bemerkt und beschrieben wurde an dieser Stelle die Anwesenheit der Coulombkräfte und der Wasserstoffbrückenbindungen. Die Schülerinnen und Schüler erwähnen die wichtige Bedeutung der Coulombkräfte in Bezug auf den Quellvorgang (Haltekraft zwischen den Carboxylatgruppen und den Natriumkationen). Aber auch die Anwesenheit der wirkenden Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Wassermolekülen und den Carboxylatgruppen wurde von der Gruppe angesprochen. Die ebenfalls zwischen den einzelnen Segmenten der Ketten beteiligten van-der-Waals Wechselwirkungen wurden von beiden Gruppen nicht beschrieben.

Neben den wirkenden Kräften gingen die Schülerinnen und Schüler auch auf den osmotischen Druck und den Konzentrationsgradienten ein. Die in den Unterrichtseinheiten durchgeführten Experimente zur Osmose und die Quellungsvorgänge unter dem Einfluss verschiedener Salze (destilliertes Wasser, Leitungswasser, NaCl- Lösung und CaCl_2 -Lösung) wurden bei den Erklärungen mit zur Verdeutlichung angebracht.

S: *„Der osmotische Druck kommt ja durch den Konzentrationsgradienten überhaupt erst zustande.“*

S: *„Das ganze baut sich durch ein Prinzip, durch ein Konzentrationsunterschied, auf. Das wäre hier ein Beispiel. Zum Beispiel, dass wir innen relativ viele Natriumkationen und außen wenig und sozusagen ist das Verhältnis von Wasser zu Natriumionen außen ein anderes ist, als innen und deshalb strömt das Wasser hinein, um sozusagen auszugleichen. Das wäre sozusagen die gleiche Konzentration von Wasser und Natriumionen haben, wie außerhalb.“*

Im anschließenden Beispiel wird gezeigt, dass Unklarheiten seitens einzelner Schülerinnen und Schüler bestanden und diese im Gruppengespräch geklärt werden konnten.

S: *„Aber wenn wir es (Wasser) destillieren würden, müsste es (SAP) ja eigentlich ohne Ende Wasser aufnehmen.“*

S: *„Irgendwann ist ja auch Schluss.“*

S: *„Wenn das Konzentrationsgefälle ausgeglichen ist, hört es auf Wasser aufzunehmen.“*

S: *„ Entweder ist das Wasser alle oder es sind keine freien Kohlenstoffatome mehr da.“*

S: *„Vielleicht sollten wir noch mal erwähnen, dass sich nach Abgabe des Wassers wieder in den alten Zustand zurückentwickelt. Und der Vorgang beliebig oft wiederholbar ist und wir ihn öfters gemacht haben.“*

Doch auch in diesem Kurs stellte sich im fortgeschrittenen Diskussionsbeitrag heraus, dass bereits beschriebene Aspekte nicht richtig verstanden worden sind. Die Existenz der wirkenden Kräfte war einem Schüler unklar.

S: *„ ...und dann ist die Frage, wie es jetzt mit den Coulombschen Kräften ist, ob die durch eine Ionenbindung existieren müssen.*

...Also, genau beurteilen kann ich es nicht, ...ob jetzt unbedingt Ionenbindung und Coulombkräfte vorhanden sein müssen.“

Die anfangs erwähnte Beobachtung, dass diese Gruppe die Bedeutung und den Umgang mit Fachbegriffen wie z.B. Coulombkräften beherrschte, gilt in diesem Falle nicht für alle Kursmitglieder. Aber dennoch gibt die Gruppendiskussion der Moderatorin die Möglichkeit solche Defizite mit Hilfe der Gruppendiskussion schnell aufdecken zu können.

Die gestellte Problemsituation zum Wassereinlagerungsprozess konnte vom zweiten Chemiekurs gelöst werden. Erfreulich war auch die Verwendung der im Unterricht angeführten Fachtermini. Dennoch stellte sich in der Gruppendiskussion heraus, dass es auch in diesem Kurs Schülerinnen und Schüler gab, die in einigen Punkten Verständnisschwierigkeiten aufwiesen.

Vergleicht man beide Chemiekurse miteinander, so kann man feststellen, dass die gestellte Aufgabe, einem Schüler den Unterrichtsstoff zu vermitteln, von beiden Gruppen bewältigt wurde. Der „abwesende“ Schüler hätte die fachlichen Grundlagen, um die bevorstehende Klausur bewältigen zu können. Insofern sind die kognitiven Ziele, die mit dem Lernzyklus angestrebt wurden, auch tatsächlich erreicht worden. Die zweite Gruppe konnte präziser formulieren, jedoch erhielt diese Gruppe durch zusätzliche Reize von der Moderatorin auch zusätzliche Impulse. Hingegen wurde die Bearbeitung der Problematik im Chemiekurs 1 völlig selbstständig und ohne Eingreifen der Moderatorin durchgeführt.

Die Eigenschaften und Anwendungsmöglichkeiten der superabsorbierenden Polymere konnten in der Gruppendiskussion von beiden Chemiekursen vollständig angeführt werden. Die in beiden Gruppen benutzten Beispiele der Anwendungen gehörten in die Bereiche der Landwirtschaft, Medizin und Kabeltechnologie.

S: *„Und dann sollten wir noch die Anwendungsgebiete zeigen und nachdem die Grundlagen geklärt sind, noch (auf) spezielle Anlagemöglichkeiten eingehen.“*

S: *„Zum Beispiel in der Landwirtschaft, um Wasser zu speichern... Und das es gut zum Wasserspeichern ist, wissen wir schon und damit eben auch praktisch in der Landwirtschaft verwendet werden...“*

S: *„Oder halt im medizinischem Bereich oder in der Kabeltechnologie.“*

Die zu lösenden Aufgaben stellen nur eine begrenzte Steuerungsmöglichkeit dar, denn durch die spontanen Entscheidungen, die während des Ablaufes der Gruppendiskussion zu treffen sind, ist ein Verlauf flexibel und kann durchaus in nicht geplante Bahnen laufen. So reichte in der einen Gruppe die Präsentation eines Grundreizes aus, um die Diskussion eigenständig durchführen zu können. In der zweiten Gruppe musste die Moderatorin neue Reize initiieren, um die Diskussion in Schwung zu halten.

Außerdem ist die Beteiligung der Schüler und Schülerinnen nicht gleichmäßig über die gesamte Gruppe verteilt. Es können auch keine Aussagen über Einzelne getroffen werden. Dies alles ist beim Einsatz der Methode zu beachten.

Die Absicherung und Verallgemeinerung der Forschungsergebnisse hat über den Prozess der Triangulation stattgefunden. Zur Validierung erschienen die Schüler und

Schülerinnen als Gesprächspartner wenig geeignet. Daher wurden bei der Erstellung der Transkripte und zur Überprüfung der Kategorien zwei mit dem Unterrichten vertraute Studenten herangezogen.

Die Gültigkeit der Ergebnisse und der Interpretationen wurde nochmals dadurch überprüft, dass die Daten und die Schlüsse daraus den betreuenden Lehrern zur Einsicht vorgelegt wurden. Wenn sich die Beforschten (in diesem Fall gehören die Lehrenden auch mit dazu) in den Analyseergebnissen und Interpretationen wiederfinden, bildet dies ein wichtiges Argument zur Absicherung der Ergebnisse.

Im Sinne einer kommunikativen Validierung wurde deshalb eine schriftliche Stellungnahme von den Lehrpersonen erbeten. Bei der Analyse der Stellungnahmen zeigt sich, dass die Lehrer keine Diskrepanzen in ihrer Wahrnehmung des Unterrichtsgeschehens und den Untersuchungsergebnissen feststellen konnten. Im Gegensatz dazu unterstreichen sie sogar einige der Ergebnisse noch aus ihrem Erfahrungsbereich:

„Durch die Gruppenarbeit wurde die Kommunikationsfähigkeit ausgebaut, gerade zwei meiner sehr schwachen Schüler beteiligten sich intensiver als sonst. Insbesondere in der Präsentationsphase, die auch intensiv zu Hause vorbereitet wurde, gab es lebhaft Diskussionsbeiträge. Insofern stimmen meine Erinnerungen auch hier mit der Einschätzung der Schüler überein.“

Wie bei der Auswertung der Fragebögen werden die Gruppenarbeitsphasen von den betreuenden Lehrern auch als Bereicherung eingeschätzt und somit die Angaben der Schüler und Schülerinnen noch nachträglich validiert.

„Bei der Auswertung [der Gruppenarbeit] kamen erstaunliche Zusammenhänge zum Vorschein, die Schüler konnten sehr genau Rückschlüsse auf die chemische Struktur ziehen.“

Dieses Zitat bestätigt die Auswertungen der Gruppendiskussionstranskripte in Hinblick auf das kognitive Verständnis der chemischen Struktur

„Einen merklichen Effekt hatte diese Art des Unterrichts auch auf die Ausbildung der Fachsprache. Diese wurde geübt, vor allem auch dadurch, dass viele Bezüge aus anderen Bereichen nötig waren, um die Vorgänge z. B. beim Quellprozess zu erklären.“

Hier wird eindeutig der Aspekt der Vernetzung positiv bewertet. Zusätzlich gibt der Lehrer aber auch einen Einfluss auf die Ausbildung der chemischen Fachsprache an. Dieser Effekt ist nur langfristig durch die Lehrperson zu beurteilen und stellt insofern eine Ausweitung der Evaluationspalette dar.

„Meine Schüler fühlten sich nicht schlechter [als der parallele Leistungskurs] auf die Klausur und das Abitur vorbereitet, sie äußerten mir gegenüber sogar, dass sie aufgrund des hochaktuellen Themas sich lieber mit der Theorie auseinandergesetzt hätten.“

Dieses Zitat macht noch einmal zusätzlich deutlich, dass die Schüler und Schülerinnen den Kontext als spannend und aktuell empfunden haben und dass ein Unterricht im Sinne von „Chemie im Kontext“ genauso leistungsorientiert sein kann.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Gruppendiskussionsmethode als Methode zur Erfassung durchaus geeignet erscheint. Die Schüler und Schülerinnen waren ohne Umschweife bereit, untereinander über dieses Thema inhaltlich zu diskutieren. So war es möglich, umfangreiche Daten in einem für die Schüler und Schülerinnen natürlichem Umfeld zu gewinnen. Dies trägt zur Validität der Ergebnisse bei, da der Forschungsprozess die Situation wenig beeinflusst hat und eine größtmögliche Annäherung an die Beforschten zuließ. Das Datenmaterial konnte auf wenige, aber prägnante Aussagen reduziert werden. So wurden die kognitiven Lernziele bei den meisten Schülern und Schülerinnen erreicht. Sie kennen die molekulare Struktur von superabsorbierenden Polymeren und können auch die Vorgänge beim Quellen erklären. Die Beziehungen zwischen den Eigenschaften der superabsorbierenden Polymere und der chemischen Struktur sind den Schülerinnen und Schülern in beiden Gruppen deutlich geworden. Industrielle Anwendungsgebiete der Polymere, die aus den Eigenschaften resultieren, sind den Lernenden geläufig. Klar traten aber auch Unsicherheiten bei den Bindungsverhältnissen zu Tage.

Aus diesem Grunde halte ich die Methode durchaus auch für Lehrende in der Schule geeignet, Fehlvorstellungen bei Schülern und Schülerinnen erkennen zu können. Auch wenn Videoaufzeichnungen solcher Gruppendiskussionen nicht so intensiv ausgewertet werden können wie im Rahmen dieser Arbeit, so kann doch bereits durch Beobachten der ablaufenden Diskussion und auch Überfliegen der Aufzeichnungen Fehler beim Gelernten schnell auffindig gemacht werden. Die Schüler und Schülerinnen könnten die Aufzeichnungen – sofern vorhanden – auch selbsttätig analysieren, was einen zusätzlichen Übungseffekt bedeuten würde.

Abschließend soll ein Zitat am Ende der Stellungnahme den Gesamteindruck zusammenfassen:

„Insgesamt hat die Vorgehensweise bei der Vermittlung der Inhalte in diesem Lernzyklus über die speziellen Polymere sicherlich einen hohen Anteil daran, dass sich einige Schüler entschlossen haben, jetzt Chemie zu studieren.“¹⁹⁹

¹⁹⁹ H. Z., Fachseminarleiter und betreuender Lehrer eines Berliner Leistungskurses, im Juli 2001

10 Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Zunächst wird in dieser Arbeit die aktuelle Situation des Chemieunterrichts analysiert. Das Interesse der meisten Schüler und Schülerinnen am Chemieunterricht ist sehr gering und damit verknüpft auch der schulische Erfolg im Fach Chemie. Besonders Mädchen fühlen sich häufiger durch die Inhalte und die Methodik wenig angesprochen. Eine persönliche Bedeutsamkeit wird von den Lernenden oft kaum empfunden und somit entsteht kaum Motivation, sich mit chemischen Inhalten zu beschäftigen. Zudem wird durch den unzureichenden Alltagsbezug des gelehrt und gelerntes „Stoffes“ oft „träges“ Wissen produziert, Wissen, das nicht in bestehendes Vorwissen integriert und deshalb zu wenig vernetzt ist.

Danach zeigt die Arbeit, welche Wege in anderen europäischen und amerikanischen Ländern gegangen wurden, um die dort ebenfalls vorhandenen Missverhältnisse zu beheben. Kontextorientierte Ansätze wie das Salters-Curriculum in Großbritannien oder Chemistry in the Community (ChemCom) in Amerika wollen die Bedeutsamkeit der Lerninhalte für die Lernenden erhöhen, indem sie Alltagsbezug anstreben und die gesellschaftliche Bedeutung betonen. Über den Erfolg entsprechender Unternehmungen liegen auch bereits empirische Studien vor.

Anschließend wird die Struktur des in Deutschland von Parchmann und Ralle entwickelten Curriculums „Chemie im Kontext“ erläutert. Auf die dazu notwendigen lerntheoretischen Hintergründe wird Bezug genommen. „Chemie im Kontext“ fühlt sich dem pragmatischen Konstruktivismus verpflichtet. Danach wird Wissen immer durch das wahrnehmende Subjekt konstruiert und es ist immer situiert. Inhalte sollen deshalb unter Anknüpfung an Vorwissen, möglichst selbsttätig und in sozialer Interaktion erarbeitet werden.

Darauf aufbauend leiten sich die Prinzipien ab, auf denen die Konzeption „Chemie im Kontext“ aufgebaut ist: Kontextbezug, Entwicklung grundlegender Basiskonzepte und Prinzipien der Unterrichtsgestaltung und -methodik. Mit Kontexten sind aktuelle, auf die Lebenswelt der Lernenden bezogene Fragestellungen gemeint. Sie müssen zudem schüler- und gesellschaftsrelevant sein. Die Kontextinhalte sollen Neugierde wecken,

den Schülerinnen und Schülern eine Identifizierung mit konkreten Problemen bzw. Fragestellungen ermöglichen und ihre Aufmerksamkeit auf ihr Erkennen und Lösen lenken. Dabei werden sowohl Fachgrenzen als auch fachübergreifende Strukturen sichtbar. Basiskonzepte sind grundlegende chemische Konzepte (wie das Konzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehung oder das Gleichgewichtskonzept), die zur Erklärung chemischer Prozesse notwendig sind. Sie sollen eine horizontale und vertikale Vernetzung garantieren, um gezielt ein strukturiertes Wissen aufzubauen. Kontextorientierte Inhalte bedingen in der Regel besondere Methoden. Eine Vielfalt an Methoden, insbesondere solche, die kooperatives und eigenverantwortliches Lernen ermöglichen, sollen bei der Unterrichtsgestaltung vorrangig berücksichtigt werden. „Chemie im Kontext“ setzt zudem gezielt die „neuen Medien“ auf unterschiedlichen Ebenen im Rahmen einer mediendidaktischen Gesamtkonzeption ein.

Die Gestaltung der Kontexte erfolgt in vierphasigen Lernzyklen mit Begegnungs- und Neugierphase, Erarbeitungs- und Vertiefungs- bzw. Vernetzungsphase. Die für den Gesamtkontext „Kunststoffe nach Maß“ konzipierten Lernzyklen werden in dieser Dissertation vorgestellt. Der Gesamtkontext erfüllt die von „Chemie im Kontext“ angelegten Kriterien: Maßgeschneiderte Kunststoffe und davon die ausgewählten superabsorbierenden und leitfähigen Polymere sind von aktuellem Forschungsinteresse und gleichzeitig Gegenstand des täglichen Lebens und berühren damit die Erfahrungswelt der Schüler und Schülerinnen. Die vorliegende Arbeit fasst die wichtigsten fachlichen Hintergründe der beiden Kontexte zusammen.

Die Struktur des Lernzyklusses für den Bereich der superabsorbierenden Polymere wird in ihren vier Phasen aufgezeigt, und es werden die dazu benötigten Unterrichtsmaterialien einschließlich der entwickelten Experimente erläutert. Die im Anhang dargestellten Unterlagen in Form von Zeitungsartikeln, Auszügen von homepages und Internetseiten, Arbeits- und Informationsbögen für Gruppenarbeitsphasen sowie der Experimentieranleitungen sollen eine Lernumgebung dokumentieren, die Neugierde und Forschungsdrang hervorruft, ermöglicht oder unterstützt. In Kurzform werden die aus den Kontexten entwickelten Lernzyklen vorgestellt.

Als Resultat der Recherche ergibt sich ein geeigneter Kontext in Form einer story zu einer feuchten Windel, die bei einem Brand unversehrt blieb und der Auslöser für die Entwicklung eines Brandschutzgels war. Nach Aufstellen von Leitfragen in der Neugierphase erarbeiten sich die Schüler und Schülerinnen – unterstützt durch die in dieser Arbeit entwickelten Experimente – die chemische Struktur und die daraus resultierenden Eigenschaften der superabsorbierenden Polymere selbsttätig an Stationen. Sie lernen in einer Art Rollenspiel als Chemiker oder Chemikerin die Anwendungsgebiete der Polymere kennen. Dieses Rollenspiel kann in einer Vertiefungsphase mit der Synthese von SAP oder einer Elektrolyse fortgesetzt werden. In diesem Lernzyklus werden das Konzept der Struktur-Eigenschafts-Beziehung, das Gleichgewichtskonzept, das Stoff-Teilchen-Konzept sowie das Donator-Akzeptor-Konzept angesteuert.

Die Darstellung des Lernzyklusses „Leitfähige Polymere“ knüpft unmittelbar an den vorherigen an. Nach Präsentation des Kontextes in Form einer Pressemitteilung der Firma Nokia für ein Handy werden auch hier Leitfragen zum Polymerakku gesammelt. In einem Gruppenpuzzle können die Schüler und Schülerinnen ihre Kenntnisse über die Grundlagen von Leitfähigkeit ergänzen bzw. sich neu aneignen. In einem experimentellen „Workshop“ kann Polypyrrol mit verschiedenen Anionen dargestellt werden, die Leitfähigkeit geprüft werden oder ein Zn/Polypyrrol-Akkumulator gebaut werden. Auch hier werden die neuen Medien in Form von Internetrecherche sinnvoll genutzt. Vertikale Vernetzungsmöglichkeiten zeigen den Zusammenhang zwischen den Kontexten auch in Bezug auf Basiskonzepte auf. Ebenso wird die horizontale Vernetzung über die Disziplin hinaus zu anderen Fächern wie der Physik deutlich.

Für eine Arbeit im Bereich der konzeptionellen Entwicklungsforschung ist die praktische Umsetzbarkeit eines Lernzyklusses in der Schule eine zentrale Fragestellung. Daher enthalten die nächsten drei Teile der Arbeit die Strategie und das Design der Evaluation des SAP-Lernzyklusses. Im Sinne einer methodischen Triangulation wird die Evaluation durch Kombination von quantitativen und qualitativen Methoden erhoben. Dabei kommen Unterrichtsbeobachtungen, Fragebögen und Gruppendiskussionen zum Einsatz.

Für den durchgeführten Lernzyklus der superabsorbierenden Polymere können die Ergebnisse der Evaluation per Fragebogen folgendermaßen zusammengefasst werden:

„Ein in lebensweltlichen und Alltagskontexten verankerter Unterricht wird von Schülerinnen und Schülern als besonders interessant und motivierend angesehen.“

„Die Vielfalt der Unterrichtsformen und Unterrichtsmethoden sichert den Schülerinnen und Schülern einen besseren Zugang zu einem bestimmten Inhalt.“

„Die Vielfalt der Unterrichtsformen und Unterrichtsmethoden wird von Schülerinnen und Schülern als besonders interessant und motivierend angesehen.“

„Das hohe Maß an Eigentätigkeit, Eigenverantwortlichkeit sowie die damit verbundenen Kommunikationsmöglichkeiten werden von Schülerinnen und Schülern als besonders interessant und motivierend angesehen.“

„Die Schüler akzeptieren die in Chemie im Kontext vorgesehene Rolle der Lehrperson als Moderator und Lernberater.“

Die Evaluation der entwickelten fünf Kern-Experimente zeigt, dass die Experimente mit hoher Wahrscheinlichkeit die gewünschten Ergebnisse zeigen (Routineaspekt). Auch die optische Wahrnehmung der beurteilten Experimente zeigt die gewünschte Wirkung (Wahrnehmungsaspekt). Allen Experimenten werden eine klärende Wirkung und geringe Komplexität zugesprochen. Die Lernenden können mit der vorgeschlagenen Experimentieranordnung gut umgehen (Handlungsaspekt). Lediglich beim Sicherheitsaspekt gab es Unsicherheiten, was paradoxerweise in der Einfachheit und Sicherheit der Experimente begründet ist. Der Kognitionsaspekt, d.h. die Überprüfung, ob die Ergebnisse der Experimente von den Schülern und Schülerinnen im beabsichtigten Sinne aufgenommen und verstanden werden, wird durch die Gruppendiskussion abgedeckt. Durch die Analyse der Transkripte zeigt sich für beide Gruppen ein gutes Verständnis der Vorgänge bei der Quellfähigkeit und der chemischen Struktur. Mängel werden beim Verständnis der Bindungsverhältnisse sichtbar.

Der konzipierte Lernzyklus zu den superabsorbierenden Polymeren wird von beiden Geschlechtern gleich gut eingeschätzt. Es ergeben sich keine signifikanten Unterschiede. Das lässt den Schluss zu, dass das Ziel erreicht wird, den

Chemieunterricht auch für Mädchen interessanter zu gestalten. Ein Indiz dafür könnte sein, dass beide Geschlechter den Unterricht als alltagsnah und spannend empfinden. Dies stellt ein wichtiges Kriterium nach Wienekamp²⁰⁰ dar, das Interesse von Mädchen an Chemie zu wecken und zu erhalten. Zudem wird auch der Bezug zur praktischen Nutzung der SAP von den Lernenden allgemein erkannt. Unter den Inhalten der Unterrichtsreihe hinterließen die praktischen Anwendungen der SAP in Industrie und Alltag bei den Schüler und Schülerinnen den tiefsten Eindruck. Dementsprechend wurde der Abstraktionsgrad des Themas als gering eingestuft. Der Anspruch, moderne chemische Aspekte schülernah in dem beschriebenen Lernzyklus umzusetzen, scheint insgesamt gelungen. Die Gruppenarbeit wird insgesamt positiv bewertet. Zusammenarbeit, Gespräche, eigenverantwortliche Tätigkeit und Klima werden ebenfalls gut bewertet. Vereinzelt wird Kritik an dem Erkenntnisgewinn in dieser Phase deutlich, die sich durch mangelnde Praxis bei der Präsentation der Ergebnisse erklären lässt.

Es muss eingeräumt werden, dass hier mit relativ kleinen Probandenzahlen gearbeitet wurde, was die generelle Aussagekraft der Erhebungen relativiert. Die Einschränkung wird durch die Triangulation der Methoden allerdings reduziert. Hierzu trägt auch die große Übereinstimmung von Forschern und Beforschten hinsichtlich der Beurteilung bei.

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich insgesamt auf den Lernzyklus der superabsorbierenden Polymere. Eine Evaluation des zweiten konzipierten Lernzyklusses über die leitfähigen Polymere wäre wünschenswert. Dazu eignet sich der entwickelte Fragebogen in Hinblick auf die Hypothesen des „Chemie im Kontext“-Curriculums und in Bezug auf die Evaluation der Experimente. Neben weiteren Evaluationsdurchgängen mit anderen Klassen müssen sich nun auch im Rahmen der Implementationsforschung Untersuchungen über die Durchsetzbarkeit des gesamten Curriculums in der Schulpraxis anschließen. Hierzu gehören auch die Durchführung von Fortbildungsveranstaltungen und deren Evaluation. Nur eine konsequente Aktualisierung des Materials gewährleistet auch tatsächlich, dass die hohen Ansprüche wie z.B. Forschungsrelevanz und Alltagsnähe eingehalten werden können.

²⁰⁰ Wienekamp, 1990

Kriterien zur Leistungsentwicklung und verbindende Aufgaben zu den einzelnen Kontexten müssen ebenfalls noch entwickelt werden. Zudem darf das Oberstufenkonzept nicht isoliert stehen bleiben, eine Entwicklung eines kontextorientierten Sek I-Konzeptes wird zur Konsolidierung der angestrebten Ziele beitragen.

11 Literaturverzeichnis²⁰¹

Amman, W. u.a.: „Elemente. Chemie II“, Stuttgart, 1989

Andrieux, C. P. et al., J. Phys. Chem. 1991, 95, S. 10158-10164

Anton, A.: „Chemieakzeptanz und Didaktik. Hat der Chemieunterricht Zukunft?“, in: Chemie in der Schule, 3/45. Jg., 1998, S. 180-183

Anton, A.: „Lehrer- und Schülerexperimente in der „Kontextfalle“ des Chemieunterrichts“, in: Chemie in der Schule, 2/46. Jg., 1999, S. 109-112

Bates et al., J. Chem. Soc. Chem. Commun. 1985, S. 871-872

Baumert, J. & Lehmann, R.: „TIMMS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich“, Berlin, 1997

Becker, H.-J.: „Chemie-ein unbeliebtes Schulfach? Ergebnisse und Motive der Fachbeliebtheit.“, in: MNU, 8/31. Jg, 1987, S. 455-457

Berliner, D.: „Telling the stories of educational psychology“, in: Educational Psychologist, 2/27. Jg., 1992, S. 143-161

BMBF Expertise: „Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts“, BLK-Projektgruppe „Innovationen im Bildungswesen“, Bonn, 1997

Brickhouse, N.W. & Tobin, K.G.: „Ethics in classroom-based research.“, in: Science education, 76. Jg, 1992, 93-117

²⁰¹ Für Literaturstellen aus fachwissenschaftlichen Journals wurde die übliche Zitierweise beibehalten

Buchholz, F.: „Absorbency and superabsorbancy“, in: Buchholz, F. & Graham, A. (Hrsg.): „Modern Superabsorbent Technology“, New York, 1998, S. 1-17

Buchholz, F.: „Applications of superabsorbent polymers“, in: Buchholz, F. & Graham, A. (Hrsg.): „Modern Superabsorbent Polymer Technology“, New York, 1998, S. 251-272

Buchholz, F.: „Superabsorbent polymers. An idea whose time has come“, in: J. of Chem. Edu., 6/73. Jg., 1996, S. 512-515

Buchholz, F.: „The structure and properties of superabsorbent polyacrylates“, in: Buchholz, F. & Graham, A. (Hrsg.): „Modern Superabsorbent Polymer Technology“, New York, 1998, S. 167-221

Bunting, R. & Swarat, K. & DaJing, Y.: „Synthesis and characterization of a conducting polymer“, in: J. of Chem. Edu., 4/74.Jg., 1997, S. 421-423

Burton, W. et al.: „Salters Advanced Chemistry. A revolution in pre-College chemistry“, in: J. of Chem. Edu., 3/72. Jg., 1995, S. 227-230

Chance, R. et al. : „Solitons, polarons, and bipolarons in conjugated polymers“, in : Skotheim, T. (Hrsg.) : „Handbook of Conducting Polymers. Vol. 2“, New York, 1986, S. 825-858

Christen, H.-R.: „Chemieunterricht : gestern, heute, morgen“, in: Chemkon, 2/7. Jg., 2000, S. 64-68

Cotran, R.S. et al.: Grundlagen der Allgemeinen Pathologie, 1993

Demuth, R. & Nick, S.: „Was können die „neuen Medien“ für den Chemieunterricht bieten?“, in: PdN-Ch., 6/48. Jg., 1999, S. 2-6

Dewey, J.: „Demokratie und Erziehung“, 3. Aufl., Weinheim; Basel, 1993

Diaz, A. et al., J. Electroanal. Chem. 1981, 121, S. 355-361

Diaz, A. & Bargon, J.: „Elektrochemical synthesis of conducting polymers“, in: Skotheim, T. (Hrsg.): „Handbook of Conducting Polymers. Vol. 1“, New York, 1986, S. 81-115

Dickerson & Gray & Haight: „Prinzipien der Chemie“, Berlin; New York, 1978

Dubs, R.: „Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung“, in: Zeitschrift für Pädagogik, 6/41. Jg., 1995, S. 889-903

Dusek, K.: Advances in Polymer Science 110 – Responsive Gels, Vol I und II, 1993

Eybe, H.: “Die Gruppendiskussion als Forschungsmethode in der Chemiedidaktik”, Dissertation Dortmund, 1999

Eisazadeh, H.& Wallace, G.G.& Spinks, G.: “Influence of steric stabilizers on the electropolymerization and properties of polypyrroles” in: Polymer, Volume 35, Nr. 8, 1994, S.1754 – 1758

Feyerabend, P.: „Erkenntnis für freie Menschen“, Frankfurt a. M., 1979

Fischer, H.: „Konstruktivismus und Didaktik der Physik“, in: physica didaktika, 4/17. Jg, 1990, S. 33-65

Fischer, H.: „Scientific Literacy und Physiklernen“, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 2/4. Jg., 1998, S. 41-52

Flintjer, B. & Jansen, W.: „Der Polypyrrol-Akkumulator mit wässrigem Elektrolyten“, in: PdN-Ch., 7/39. Jg., 1990, Seite 30-32

Flintjer, B. & Jansen, W.: „Polypyrrol und Polypyrrol-Batterien“, in: PdN-Ch, 3/38. Jg., 1989, Seite 7-11

Frey-Eiling, A. & Frey, K.: „Das Gruppenpuzzle“, in: J. Wiechmann (Hrsg.): „Zwölf Unterrichtsmethoden“, 2. Auflage, Weinheim; Basel, 2000, Seite 50-57

Gallagher, J. & Harsch, G.: „Scientific Literacy: Naturwissenschaftliche Allgemeinbildung und Sekundarstufenunterricht. Ein Bericht über ein internationales Symposium vom 9. bis 12. September 1996 in Hamburg“, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 3/2. Jg., 1996, S. 70-83

Garner, C.M. & Nething, M. & Nguyen, P.: in: J. of Chem. Educ., 74, 1997, S. 95-96.

GDCh-Fachgruppe „Chemieunterricht“: „Empfehlungen und Informationen zum Computereinsatz im Chemieunterricht“, 1996, <http://www.rz.uni-frankfurt.de/didachem/cdonline/gdch3.html>

Gerstenmaier, J. & Mandl, H.: „Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive“, in: Zeitschrift für Pädagogik, 6/41. Jg., 1995, S. 867-888

Gilbert, J.K. & Pope, M.L.: „Small group discussions about conceptions in science“, in: Research in science and technology, 4, 1, 1986, S. 61-76

Gräber, W.: „Untersuchungen zum Schülerinteresse an Chemie und Chemieunterricht“, in: CidS, 7-8/39. Jg., 1992, S. 270-273

Gräber, W. & Stork, H.: „Die Entwicklungspsychologie Jean Piagets als Mahnerin und Helferin des Lehrers im naturwissenschaftlichen Unterricht“, Teil 1 in: MNU, 4/37. Jg., 1984, S. 193-201, Teil 2 in: MNU, 5/37. Jg., 1984, S. 257-269

Gräber, W. & Suhrbier, A.: „Der Science-Technology-Society-Ansatz als Rahmen für einen bildenden und interessenfördernden Chemieunterricht“, in: Gräber, W. & Bolte, C. (Hrsg.): „Fachwissenschaft und Lebenswelt: Chemiedidaktische Forschung und Unterricht“, Kiel, 1996, S. 109-144

Graf, E.: „Lernen an Stationen“, in: Friedrich Jahresheft, 1997, S. 80-84

Graf, E.: „Wie chemisch muß der Chemieunterricht sein? Gedanken zu zeitgemäßen Veränderungen“, in: ChidS, 5/45. Jg., 1998, S. 310-316

Graham, A. & Wilson, L.: „Commercial processes for the manufacture of superabsorbent polymers“, in: Buchholz, F. & Peppas, N. (Hrsg.): „Superabsorbent Polymers. Science and Technology“, Washington DC, 1994, S. 69-117

Gruber, H. & Mandl, H. & Renkl, A.: „Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen?“ In Mandl, H. & Gerstenmaier, J. (Hrsg.), „Die Kluft zwischen Wissen und Handeln, Göttingen, 2000, S. 139-156

Häußler, P. et al.: „Perspektiven für die Unterrichtspraxis“, Kiel, 1998

Hannover, B. & Bettge, S.: „Mädchen und Technik“, Göttingen, 1993

Heege, R. & Schmidkunz, H.: „Zur wahrnehmungsaktiven Gestaltung visueller Darstellungen“, in: NiU-Ch, 8/38. Jg., 1997, S. 10-14

Hegele, I.: „Stationenarbeit“, in: J. Wiechmann (Hrsg.): „Zwölf Unterrichtsmethoden“, 2. Auflage, Weinheim; Basel, 2000, S. 58-71

Heimgärtner, H.: „Softwareeinsatz im Chemieunterricht“, in: ChidS, 2/46. Jg, 1999, S. 71-73

Heinecke, C.: „Lernen im Chemieunterricht als Vorstellungswechsel“, in: MNU, 6/50.Jg., 1997, S. 330-335

Heldmaier, C.: „Schulversuche über Osmose“, Eßlingen, 1955, S. 14-15

Hi, Z. et al.: „Synthesis and application of modulated polymer gels“, in: Science 1995, 269, S. 525-527

Huntemann, H. et al.: „Chemie im Kontext – ein neues Konzept für den Chemieunterricht“, in: Chemkon, 4/6. Jg., 1999, S. 191-196

Huntemann, H. et al.: „Ein Auto ohne Kunststoffe? – Eine Unterrichtseinheit aus der Konzeption *Chemie im Kontext*“, in: PdN-Ch., 4/49. Jg., 2000a, S. 19-30

Huntemann, H. & Parchmann, I.: „Biologisch abbaubare Kunststoffe. Einordnung in ein neues Konzept für den Chemieunterricht“, in: Chemkon, 1/7. Jg., 2000b, S. 15-21

Huntemann, H. & Haarmann, E.M. & Parchmann, I.: „Schüleraussagen zur Unterrichtsreihe ‚Treibstoffe in der Diskussion‘“, in: Chemkon, 2000c, S. 131-136

Iseki, M. et al., J. Electroanal. Chem. 1993, 358, S. 221-233

Jérôme, C. et al., Angew. Chem. 1998, 110, S. 2639-2642

Jung, W.: „Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie“, in: NiU-Ch, 2/34. Jg., 1986, S. 2-6

Jung, W.: „Konstruktivismus, Physikalismus und Phänomenologie - In Erinnerung an Martin Wagenscheins hundertsten Geburtstag“, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 2/3. Jg., 1997, S. 3-14

Kant, I.: „Kritik der reinen Vernunft“, herausgegeben von Raymund Schmidt, Hamburg, 1956

Katchalsky, A.: J. Polym. Sci., 7, S. 393, 1951

Katchalsky, A. & Michaeli, I.: Polyelectrolyte gels in salt solutions, J. Polym. Sci., 15, S. 69-86, 1955

Kempa, R.: „Motivations- und Interessenbildung im Chemieunterricht“, in: . Zur Didaktik der Physik und Chemie, Alsbach 2000, S. 20-31

Kern, W.: „Über die Polymerisation der monomeren Akrylsäure zu löslichen und unlöslichen . Polymeren“, in: Kunststoffe, 10/28. Jg., 1938, S. 257-259

Kinney, A. & Scranton, A.: „Formation and structure of cross-linked polyacrylates“, in: Buchholz, F. & Peppas, N. (Hrsg.): „Superabsorbent Polymers. Science and Technology“, Washington DC, 1994, S.2-26

Klippert, H.: „Teamentwicklung im Klassenraum“, Weinheim, 1998

Köhler-Krützfeldt, A.: „Nutzung des Internets für den Chemieunterricht“, ChidS, 2/46. Jg., 1999, S. 81-85

Köhler-Krützfeldt, A.: „Einfluss geschlechtsspezifischer Lernumgebung im Anfangsunterricht Chemie“, in: Zur Didaktik der Physik und Chemie, Alsbach, 2000, S. 108-110

Köhler-Krützfeldt, A.: „Kunststoffe mit maßgeschneiderten Funktionen“, in: MNU, 3/54. Jg., 2001a, S. 163-168

Köhler-Krützfeldt, A.: „Entwicklung von Experimentierkompetenz im Anfangsunterricht Chemie“, in: Zur Didaktik der Physik und Chemie, Alsbach, 2001b, S. 132-135

Köhler-Krützfeldt, A.: „Spielend in die Polymerchemie“, in: PdN, 5/50. Jg., 2001c, S. 24-26

Krapp, A.: „Konzepte und Forschungsansätze zur Analyse des Zusammenhangs von Interesse, Lernen und Leistung“, in: Krapp, A. & Prenzel, M. (Hrsg.): Interesse, Lernen, Leistung, Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung, Münster, 1992, S. 9-52

Kubli, F.: Interesse und Verstehen in Physik und Chemie, Köln, 1987

Kuhl, A.: „Soll die Didaktik konstruktivistisch werden?“, in: Pädagogische Korrespondenz, 12/12. Jg., 1993, Seite 36-55

Kuhn, W. & Künzle, O. & Katchalsky, A.: *Helv. Chim. Acta*, 31, 1948, S. 1994

Kvale, S.: *InterViews*. Thousand Oaks, 1996

Lamnek, S.: *Qualitative Sozialforschung. Methodologie*. Band 1, Weinheim, 1995

Lamnek, S.: *Qualitative Sozialforschung. Methoden und Techniken*. Band 2, Weinheim, 1995

Lazonby, J. et al.: „Teaching and Learning the Salters' Way”, in: *J. of Chem. Edu.*, 11/69. Jg., 1992, S. 899-902

Lutz, B.: „Medien für den Chemieunterricht an der Schwelle zum 21. Jahrhundert“, in: *NiU-Chemie*, 8/38. Jg., 1997, S. 4-6

Lunetta, V. N.: “The school science laboratory: historical perspectives and contexts for contemporary teaching” in: Tobin, K. & Fraser, B.: *International Handbook of Science Education*, Amsterdam, 1998, S. 1-10

Mandl, H. & Gruber, H. & Renkl, A.: „Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen“, in: Issing, L. (Hrsg.): „Information und Lernen mit Multimedia“, Weinheim, 1997, S. 167-178

Mangold, W.: *Gruppendiskussionsverfahren*, Frankfurt am Main, 1960

Mayring, P.: *Einführung in die qualitative Sozialforschung*, München, 1996

Menke, K. et al.: „Metallisch leitfähige Polymere I“, in: *ChiuZ*, 1/20. Jg., 1986, S. 1-10

Menke, K. et al.: „Metallisch leitfähige Polymere II“, in: *ChiuZ*, 2/20. Jg., 1986, S. 33-43

Miller, J. S., Adv. Mater. 1993, 5, Teil A: S. 587-589, Teil B: S. 671-676

Miller, J.: „Scientific Literacy for Effective Citizenship“, in: Yager, R. (Hrsg.): „Science/Technology/Society – As Reform In Science Education“, New York, 1996, S.185-204

Mitchell, G., Polym. Commun. 1986, 27, S. 346-349

Möllenkamp, H.: „Das Internet im Chemieunterricht – Erfahrungen mit einem Chemie-Leistungskurs am Beispiel des Themas „Farbe und Farbstoffe““, in: MNU, 8/51. Jg, 1998, S. 484-491

Möllenkamp, H & Krilla, B. & Ralle, B.: „Computerunterstützte dynamische Visualisierungen von Reaktionsmechanismen für den Chemieunterricht“ in: MNU, 4/54. Jg, 2001, S. 484-491

Negorski, H.: „Characterisation of a new superabsorbent polymer generation“, in: Buchholz, F. & Peppas, N. (Hrsg.): „Superabsorbent Polymers. Science and Technology“, Washington DC, 1994, S. 99-111

Nießen, M.: Gruppendiskussion, 1977

Nürnberg, I.: „Computerunterstütztes Experimentieren im Chemieunterricht. Grundlagen – Lehrplanbezüge – Versuche“, Zentralstelle für Computer im Unterricht, Augsburg, 1999

Parchmann, I. et al.: „Chemie im Kontext. Eine Konzeption zum Aufbau und zur Aktivierung fachsystematischer Strukturen in lebensweltorientierten Fragestellungen“, in: MNU, 3/53. Jg., 2000a, S. 132-137

Parchmann, I. et al.: „Schüleraussagen zur Unterrichtsreihe „Treibstoffe in der Diskussion“, in: Chemkon, 3/7. Jg., 2000b, S. 131-136

Parchmann, I. et al.: „Chemie im Kontext – Begründung und Realisierung eines Lernens in sinnstiftenden Kontexten“ in: PdN-Ch., 1/50. Jg., 2001, S. 2-7

Paschmann, A. et al.: „Die Bedeutung der Ozeane im Kohlenstoffkreislauf“, Teil 1 in: MNU, 3/53. Jg., 2000, S. 170-175, Teil 2 in: MNU, 4/53. Jg., 2000, S. 227-231

Piaget, J.: „Theorien und Methoden der modernen Erziehung“, Wien, 1972

Pilling, G. & Waddington, D.: „Ein neuer Chemiekurs: In die Zukunft blicken“, in: Chemkon, 1/4. Jg., 1997, S. 13-18

Pohl, W. et al., Z. Naturforschg. 1966, 21 a, S. 756-763

Postmann, N.: „Keine Götter mehr. Das Ende der Erziehung“, München, 1997

Prenzel, M.: „Die Wirkungsweise von Interesse“, Opladen, 1988

Ralle, B.: „Curriculumsentwicklung – ein Teil fachdidaktischer Forschung?“ Vortrag auf einem internen Kolloquium der Universität Dortmund, 1999

Ramsden, J.: „If it`s enjoyable, is it science?“, in: SSR, June 73, 1992, S. 65-71

Ramsden, J.: „Context and activity-based science in action, some teachers` view of the effects on pupils“, in: SSR, March 75, 1994, S. 7-11

Ramsden, J.: „How does a context-based approach influence understanding of key chemical ideas at 16+“, in: Int. J. Sci. Educ., 6/19. Jg., 1997, S. 697-710

Rausch, M.: „Chemie und Internet in der Schule – eine Einführung“, in: PdN-Ch., 6/47. Jg, 1998, S. 2-7

Redlin, K. & Lück, G.: „Kunststoff-Versuche – für alle Schularten geeignet“, in PdN-Ch, 4/49.Jg, 2000, S. 40-45

Reinhardt, K.: „Öffnung von Schule. Community Education als Konzept für die Schule der Zukunft“, Weinheim; Basel, 1992

Renkl, A.: „Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird“ in: Psychologische Rundschau, 47, 1996, S. 78-92

Riedel, E.: „Anorganische Chemie“, 2. Aufl., Berlin; New York, 1990

Riedel, S.: „Multimedia im (Chemie)Unterricht“, in: NiU-Ch, 38/8. Jg., 1997, S. 34-36

Rotering-Steinberg, S.: „Gruppenpuzzle und Gruppenrallye. Beispiele für kooperative Arbeitsformen“, in: Pädagogik, 1/44. Jg., 1992, S. 27-30

Sacher, W.: „Multimedia und Computersimulationen im Unterricht“, in: MNU, 8/51. Jg., 1998, S. 452-458

Sanger, M.J. & Greenbowe, T.: Science-Technology-Society (STS) and ChemCom courses versus College Chemistry Courses: Is there a mismatch? , ”, in: J. of Chem. Edu. 6/73. Jg., 1996, S. 532 – 535

Sann,W.: „Kunststoffe – Faszination der Vielfalt“ in: PdN-Ch, 4/49.Jg, 2000, S. 2-5

Schmidkunz, H.: „Der Einsatz moderner Medien und Technologien für Lernprozesse“, in: NiU-Ch, 8/38. Jg., 1997, S. 7-9

Schulz-Zander, R.: „Lernen in der Informationsgesellschaft“, in: Pädagogik, 3/49. Jg., 1997, S. 8-12

Shiland, T.: “Constructivism: The implications for laboratory work”, in: J. of Chem. Edu., 1/76. Jg., 1999, S. 107-109

Shimomura, T. & Namba, T.: „Preparation and application of high-performance superabsorbent polymers“, in: Buchholz, F. & Peppas, N. (Hrsg.): „Superabsorbent Polymers. Science and Technology“, Washington DC, 1994, S. 112-127

Silberberg-Bouhnik, M. et al., J. Polym. Sci. 1995, 33, S. 2269-2279

Sprod, T.: „Nobody really knows“: the structure and analysis of social constructivist whole class discussions. In: International Journal of science education, 19, 1997, S. 911-924

Staples, T.L.& Henton, D.E. & Buchholz, F.: “Chemistry of superabsorbent polyacrylates” in: Buchholz, F.& Graham, A. (Hrsg.): Modern superabsorbent polymer technology, 1998, S.19-68

Stinner, A.: „Contextual settings, science stories, and large context problems: Toward a more humanistic science education”, in: Science Education, 5/79. Jg., 1995, S.555-581

Stork, H.: „Was bedeuten die aktuellen Forderungen “Schülvorstellungen berücksichtigen, ‘konstruktivistisch’ lehren!” für den Chemieunterricht in der Sekundarstufe I?”, in: Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 1/1. Jg., 1995, S. 15-28

Street, G.: „Polypyrrole. From powders to plastics”, in: Skotheim, T. (Hrsg.): „Handbook of Conducting Polymers. Vol. 1”, New York, 1986, S. 265-292

Sutman, F. & Bruce, M.: „Chemistry in the community – ChemCom – A five-year evaluation”, in: J. of Chem. Edu., 7/69. Jg., 1992, S. 564-567

Suzuki, A. & Tanaka, T.: „Phase transition in polymer gels induced by visible light“, in: Nature 1990, 346, S. 345-347

Tanner, D. & Fitzgerald, J. A. & Phillips, B. R.: „The „Kevlar“ Story – An example of the innovative process“, in: Progress in rubber technology, 5. Jg., 1989, S. 229-251

Tipler, P.: „Physik“, Heidelberg ; Berlin ; Oxford, 1994

Towns, M.: „How do I get my students to work together? Getting cooperative learning started“, in: J. of Chem. Edu., 1/75. Jg., 1998, S. 67-69

Twenhöwen, F. L.: „Die Nutzung von Algen“, in: Unterricht Biologie 225/21, 1997, S. 40-44

Wegner, G., Angew. Chem. 1981, 93, S. 352-371

Weidenmann, B. & Krapp, A. et al. (Hrsg.): Pädagogische Psychologie, München, 1994

Wienekamp, H.: „Mädchen im Chemieunterricht: unbewusstes Lehrerverhalten und rollenspezifische Einstellungen als Ursache für das Desinteresse und die schlechteren Leistungen der Mädchen im Chemieunterricht“, Essen, 1990

12 Anhang mit Materialien

12.1 Materialien zur Unterrichtsreihe SAP

Ein Lebensretter aus stinkenden Windeln

Ein Feuerwehrmann bemerkte, dass feuchte Babywindeln einen Hausbrand unbeschadet überstanden. Jetzt hat er ein Unternehmen in seiner Garage gegründet.

JUPITER, Fla. Eine durchnässte, stinkende Babywindel hilft, Häuser und „Masten“ vor Bränden zu bewahren. Ein feuerfestes Gel – entwickelt von einem Feuerwehrmann, der bemerkte, dass eine benutzte, feuchte Windel der einzige Gegenstand war, der einen Hausbrand unbeschadet überstand – wird von Forschung und Wirtschaft als die größte Erfindung in der Brandbekämpfung seit Schlauch und Pumpe angesehen.



„Barricade“-Gel wird aus den gleichen superabsorbierenden Polymeren hergestellt, wie sie auch in Babywindeln zu finden sind. „Sie wirken wie kleine, stark absorbierende Schwämme, die Flammen für bis zu 30 Stunden zurückhalten können oder sie gar löschen.“, sagt John Bartlett, Feuerwehrmann aus Palm Beach und Begründer der Firma „Barricade International“.

Das Gel wird bereits von der Feuerwehr in Los Angeles, dem US Militär sowie der Florida Power & Light Co. – einem der größten US-amerikanischen Stromversorger – genutzt. Es sieht aus wie Rasierschaum und kann mit einem Schlauch aufgetragen werden.

„Das ist beeindruckendes Zeug!“, sagt Bill Kramer, Professor für Brandforschung an der Universität von Cincinnati und Brandmeister in Deerfield Township, Ohio. „Ich habe eine Menge neuer Produkte gesehen.“ fügt er hinzu und zählt eine Reihe von Schäumen und anderen Brandbekämpfungsmitteln auf. „Doch dies ist das einzige, das einem Quantensprung für die Brandbekämpfung gleichkommt.“

Und es lässt sich einfach abwaschen, wenn die Brandgefahr gebannt ist.

Alles begann mit einer Windel:

Bartlett (45) durchstöberte die verkohlten Reste eines Hauses, als er auf einen weißen, glitschigen Gegenstand stieß. Es war eine nasse Windel, der einzige Gegenstand, der nicht verbrannte in einem großen Haufen Schutt.

Ein Jahr später sprach er mit einem Chemiker und begann zu experimentieren. [...]

Zusammen mit seinem Vater Bill (selbst ehemaliger Feuerwehrmann) und seinem Kollegen Bruce Hill gründete er ein Unternehmen in einer engen, stickigen Garage. Nach fünf Jahren Forschung, unzähligen verbrannten Sperrholzplatten im Garten und 60 unterschiedlichen Ansätzen glauben sie nun, das richtige Produkt entwickelt zu haben.

Die Firma bietet ein „home protection kit“ mit Anschluss an den Gartenschlauch für 189\$ an. Außerdem gibt es einen Rucksack im *Ghostbusters*-Stil, der es Feuerwehrmännern erlaubt, das Gel mit sich zu führen.

Als am Anfang des Monats „Barricade“ damit beauftragt wurde, Häuser in St. Lucie zu schützen, und die Erfindung öffentlich gelobt wurde, begannen die Telefone zu klingeln...

Die Menschen kamen zu Bartlett's Garagentor und fragten nach dem Gel. Bill Bartlett sagte gestern, die Familie habe in den letzten zehn Tagen 500 Kannen à 35\$ verkauft.

Original auf www.phillynews.com/inquirer vom 12.5.2000

Station: Qualitative Auswirkung von Salzlösungen und Lösungen verschiedener pH-Werte auf das Gelvolumen von vorgequollenen Gelen

Geräte und Substanzen:

Mehrere Glasrohre (Durchmesser 4 cm), Gazeschicht, Parafilm

Bechergläser, Stative, Klemmen und Muffen, Standzylinder

SAP, destilliertes Wasser

NaCl-Lösung (w = 4%), CaCl₂-Lösung (w = 4%), HCl-Lösung (w = 5%), NaOH-Lösung (w = 5%)

**Durchführung:**

Die in destilliertem Wasser in den Glasrohren vorgequollenen Polymere werden nach Markierung der Quelhöhe mit einem Faserschreiber mit jeweils einer der Lösungen übergossen.

a) Absorption von Salzlösungen

Geben Sie jeweils 15 mL der folgenden Lösungen von oben in eines der Rohre:

1) NaCl-Lösung (w = 4%)

2) CaCl₂ (w = 4%)

Notieren Sie die jeweilige Volumenänderung.

b) Absorption saurer und alkalischer Lösungen

Geben Sie jeweils 15 mL der folgenden Lösungen von oben in eines der Rohre:

1) HCl-Lösung (w = 5%)

2) NaOH-Lösung (w = 5%)

Notieren Sie die jeweilige Volumenänderung.

Nach Abschluss des Prozesses wird von oben mit destilliertem Wasser nachgewaschen.

Beobachtung:

Station: „Pufferwirkung“**Geräte und Substanzen:**

SAP

Wägegläschen oder Petrischalen, Spatel

Universal-Indikator

HCl-Lösung (w = 5%), NaOH-Lösung (w = 5%)

Fuchsinlösung

**Durchführung:**

Geben Sie in drei Petrischalen trockenes SAP und geben Sie darauf jeweils 2 Tropfen einer verdünnten Säure, verdünnten Lauge (jeweils versetzt mit Universalindikator) und als Vergleich einen Farbstoff (Fuchsinlösung).

Beobachtung:

Station: Osmose

Die Vorgänge in einem quellenden superabsorbierenden Polymer lassen sich mit dem Begriff der Osmose beschreiben. Vielleicht kennen Sie dieses Prinzip aus dem Biologieunterricht.

Geräte und Substanzen:

2 Bechergläser (250 mL)
1 Laborwaage
gesättigte Kochsalzlösung
destilliertes Wasser
1 Hühnerei ohne Schale (Vorsicht!)

Durchführung:

Zunächst wird das Ei gewogen und die Masse notiert. Dann wird es in die gesättigte Kochsalzlösung gegeben und dort ca. 10 Minuten gelassen. Jetzt wird das Ei mit Papiertüchern getrocknet und erneut gewogen. Schließlich wird der Prozess mit dem destilliertem Wasser wiederholt.

Beobachtung:

Wie kann man die Massenveränderungen erklären?

Benutzen Sie gegebenenfalls ausliegende Fachliteratur.

Station: Absorptionsvermögen verschiedener Stoffe

Hier soll untersucht werden, wieviel Wasser das superabsorbierende Polymer im Vergleich zu anderen Stoffen aufnehmen kann.

Geräte und Substanzen:

Teesieb bzw. Teebeutel
SAP, Cellulose, Schwamm, Wischlappen
dest. Wasser
Laborwaage
Stativ zum Abtropfen

Durchführung:

Wiegen Sie jeweils 0,2 g folgender Materialien ab und geben Sie jeweils in ein Teesieb (-beutel):

a) SAP b) Cellulose (Küchenrollenpapier) c) Schwamm d) Wischlappen.

Tauchen Sie das Material mit dem Sieb bzw. Beutel in Wasser und lassen Sie es vollständig aufquellen. Anschließend lassen Sie die jeweiligen Materialien 1 Minute abtropfen und wiegen Sie nochmals aus.

Vergleichen Sie die Masse beider „Tiere“ (gequollen und ungequollen) und ermitteln Sie ebenfalls das Absorptionsvermögen.

Beobachtung:**Auswertung:**

Ermitteln Sie jeweils das Absorptionsvermögen der verschiedenen Materialien sowie der beiden Tiere in der Einheit $\text{g(Wasser)} / \text{g(Material)}$.

Station: Löseversuch**Geräte und Substanzen:**

SAP

Reagenzgläser, Spatel

Lösungsmittel Wasser, Benzin, Ethanol

Durchführung:

Geben Sie in die Reagenzgläser wenig trockenes SAP und geben Sie dazu verschiedene Lösungsmittel. Schütteln Sie ggf.

Beobachtung:

Elektrolyse des Gels in wässriger Lösung

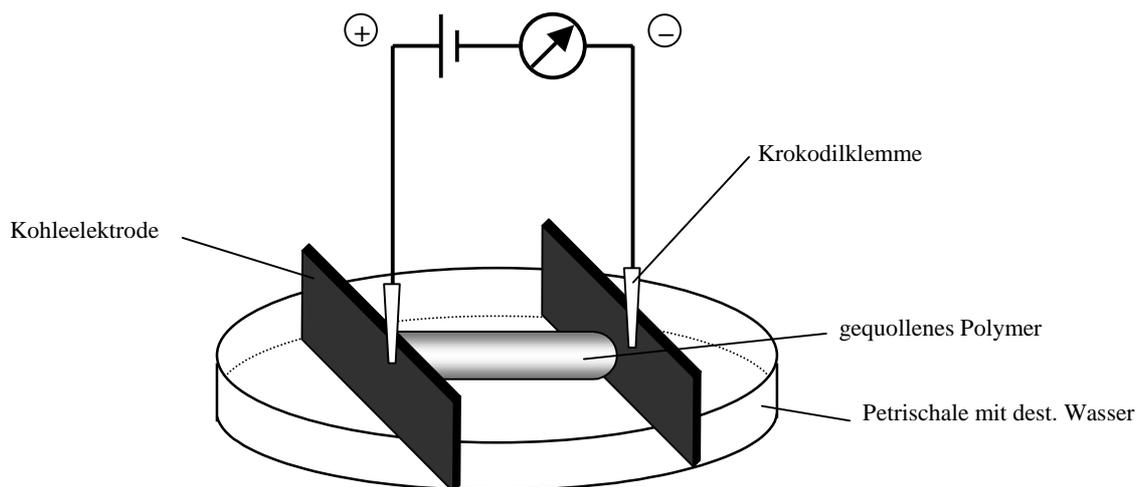
Materialien/Chemikalien:

Spannungsquelle, Strommessgerät, plattenförmige Graphitelektroden, Krokodilklemmen, Petrischale, Indikatorpapier oder pH-Meter, Skalpell oder Rasierklinge
in dest. Wasser gequollene Polymere (hierfür eignen sich nur die selbstsynthetisierten Polymere oder käufliche Hydrokristalle aus dem Gartenbau; Quellvorgang kann auch in dest. Wasser und Methyleneblau erfolgen), dest. Wasser

Durchführung:

Ein über Nacht. (bzw. mindestens acht Stunden) gequollenes Gel (ca. 0,5 - 2g, möglichst quaderförmig mit Skalpell zurechtschneiden (ca. 0,5 x 0,5 x 1,5cm) und Masse notieren!) wird in der mit dest. Wasser gefüllten Petrischale zwischen den Elektroden platziert. Die Elektrolyse wird bei 20-40V durchgeführt, bis das Polymer deutlich bzw. maximal kollabiert ist .

Der pH-Wert des Wassers und die Stromstärke können ggf. vor und nach der Elektrolyse notiert werden.



Reaktion gequollener SAPs auf farbige Salzlösungen

Materialien/Chemikalien:

Mehrere Glasrohre (Durchmesser 4 cm), Gazeschicht, Parafilm, schlanke Bechergläser (250mL), Stative, Klemmen und Muffen, Messzylinder
SAP, KMnO_4 -Lösung (w = 1%, Xn, O), $\text{K}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6)$ -Lösung (w = 1%),
($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)-Lösung (w = 1%, Xn), ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)-Lösung (w = 1%, Xn),

Durchführung:

Die Verbrennungsröhrchen werden an einem Ende mit einem Stück Gaze verschlossen (Befestigung durch Parafilm) und mit jeweils ca. 0,2 g des Polymers gefüllt.

Anschließend werden die Rohre senkrecht an Stativen befestigt. Unter den Rohren werden Bechergläser platziert.

Man gibt nun das Polymer in das Verbrennungsrohr, setzt dieses zum Quellen runter in ein mit dest. Wasser gut gefülltes Becherglas und wartet die Beendigung des Quellvorganges ab (max. Quellung nach ca. 30-45min). Anschließend lässt man das Rohr nach dem Hochsetzen etwas abtropfen. Die Füllhöhe des Polymers wird an der Glaswand mit einem farbigen Stift markiert.

Anschließend werden jeweils ca. 20 mL der farbigen Salzlösungen von oben in die Rohre gegeben. Nach dem kompletten Durchlaufen kann die durchlaufene Flüssigkeit im Becherglas entfernt werden und der Ansatz von oben mit destilliertem Wasser „nachgewaschen“ werden.

Beobachtungen:

SAP-Synthese Standardrezept

Materialien:

Bechergläser, 1mL/2mL/5mL-Spritzen, evtl. Thermofühler, Spatel, Glasstäbe, 2 spitze Pinzetten, Löffel, Kristallisierschale, 50mL/100mL Messzylinder

Chemikalien:

destilliertes Wasser, Acrylsäure; N,N'-Methylenbisacrylamid-Lösung (MBA, w = 1%); Ascorbinsäure-Lösung (w = 1,9%); H₂O₂-Lösung (w = 0,6%); Natronlauge (c = 0,5 mol/L), Methanol

Sicherheitshinweise:

- Methanol ist leichtentzündlich und giftig  
- MBA ist gesundheitsschädlich 
- Acrylsäure, H₂O₂ und Natronlauge sind ätzend 
- beim Zerteilen des Polymers in der Natronlauge sind Handschuhe zu tragen



Durchführung:

1.Schritt: Quervernetzende Polymerisation

- Im Becherglas werden folgende Lösungen in der angegebenen Reihenfolge vermischt (zum Abmessen der Flüssigkeitsmengen Spritzen verwenden):

2,7mL destilliertes Wasser
 2,0mL Acrylsäure
 0,2mL MBA-Lösung (w = 1%)
 1,4mL Ascorbinsäurelösung (w = 1,9%)
 0,7mL H₂O₂-Lösung (w = 0,6%)

- Der Inhalt des Becherglases wird durch leichtes Schwenken gemischt und bei Raumtemperatur stehen gelassen (die Temperaturveränderung im Verlauf der Reaktion kann mit Hilfe eines Thermofühlers verfolgt werden).
- Die weitere Aufarbeitung (2. Schritt) kann sofort nach Abkühlung (evtl. Becherglas von außen mit fließendem Wasser kühlen) oder auch erst am nächsten Tag erfolgen.

2.Schritt: Partielle Neutralisation des Zwischenprodukts

- Das Zwischenprodukt wird in eine Kristallisierschale überführt und mit 40mL Natronlauge (c = 0,5 mol/L) übergossen.
- Mit Hilfe der beiden spitzen Pinzetten wird das Polymer hier in kleinere Stücke geteilt. (Handschuhe und Schutzbrille!)
- Nach vollständiger Absorption der Lösung durch das Gel (ca. 30min) gibt man ca. 100mL Methanol hinzu.
- Der Inhalt der Kristallisierschale wird ab und zu vorsichtig geschwenkt (nicht mit einem Werkzeug rühren, denn das Gel ist jetzt sehr klebrig!)
- Nach ca. 10min wird die Flüssigkeit abgegossen (Lösungsmittelabfall) und es werden 60mL Methanol zugefügt.
- Der letzte Vorgang wird (nach jeweils 10minütiger Inkubation) noch zweimal wiederholt; die Polymerstückchen müssen währenddessen je nach Konsistenz mit Hilfe der Pinzetten evtl. erneut voneinander bzw. von ihrer Unterlage gelöst werden.
- Nach dem letztmaligen Abgießen der Flüssigkeit werden die Produkte über Nacht unter dem Abzug zum Trocknen stehen gelassen (sie können auch im Trockenschrank bei ca. 80°C innerhalb von ca. einer Stunde getrocknet werden).

SAP-Synthese- mit viel Starter

Materialien:

Bechergläser, 1mL/2mL/5mL-Spritzen, evtl. Thermofühler, Spatel, Glasstäbe, 2 spitze Pinzetten, Löffel, Kristallisierschale, 50mL/100mL Messzylinder

Chemikalien:

destilliertes Wasser, Acrylsäure; N,N'-Methylenbisacrylamid-Lösung (MBA, w = 1%); Ascorbinsäure-Lösung (w = 18,8%); H₂O₂-Lösung (w = 6%); Natronlauge (c = 0,5 mol/L), Methanol

Sicherheitshinweise:

- Methanol ist leichtentzündlich und giftig  
- MBA ist gesundheitsschädlich 
- Acrylsäure, H₂O₂ und Natronlauge sind ätzend 
- beim Zerteilen des Polymers in der Natronlauge sind Handschuhe zu tragen 

Durchführung:

1.Schritt: Quervernetzende Polymerisation

- Im Becherglas werden folgende Lösungen in der angegebenen Reihenfolge vermischt (zum Abmessen der Flüssigkeitsmengen Spritzen verwenden):
 - 3,7mL destilliertes Wasser
 - 2,0mL Acrylsäure
 - 0,2mL MBA-Lösung (w = 1%)
 - 0,7mL Ascorbinsäurelösung (w = 18,8%)
 - 0,35mL H₂O₂-Lösung (w = 6%)
- Der Inhalt des Becherglases wird durch leichtes Schwenken gemischt und bei Raumtemperatur stehen gelassen (die Temperaturveränderung im Verlauf der Reaktion kann mit Hilfe eines Thermofühlers verfolgt werden).
- Die weitere Aufarbeitung (2. Schritt) kann sofort nach Abkühlung (evtl. Becherglas von außen mit fließendem Wasser kühlen) oder auch erst am nächsten Tag erfolgen.

2.Schritt: Partielle Neutralisation des Zwischenprodukts

- Das Zwischenprodukt wird in eine Kristallisierschale überführt und mit 40mL Natronlauge (c = 0,5 mol/L) übergossen.
- Mit Hilfe der beiden spitzen Pinzetten wird das Polymer hier in kleinere Stücke geteilt. (Handschuhe und Schutzbrille!)
- Nach vollständiger Absorption der Lösung durch das Gel (ca. 30min) gibt man ca. 100mL Methanol hinzu.
- Der Inhalt der Kristallisierschale wird ab und zu vorsichtig geschwenkt (nicht mit einem Werkzeug rühren, denn das Gel ist jetzt sehr klebrig!)
- Nach ca. 10min wird die Flüssigkeit abgegossen (Lösungsmittelabfall) und es werden 60mL Methanol zugefügt.
- Der letzte Vorgang wird nach jeweils 10 Minuten noch zweimal wiederholt; die Polymerstückchen müssen währenddessen je nach Konsistenz mit Hilfe der Pinzetten evtl. erneut voneinander bzw. von ihrer Unterlage gelöst werden.
- Nach dem letztmaligen Abgießen der Flüssigkeit werden die Produkte über Nacht unter dem Abzug zum Trocknen stehen gelassen (sie können auch im Trockenschrank bei ca. 80°C innerhalb von ca. einer Stunde getrocknet werden).

SAP-Synthese- mit viel Quervernetzer

Materialien:

Bechergläser, 1mL/2mL/5mL-Spritzen, evtl. Thermofühler, Spatel, Glasstäbe, 2 spitze Pinzetten, Löffel, Kristallisierschale, 50mL/100mL Messzylinder

Chemikalien:

destilliertes Wasser, Acrylsäure; N,N'-Methylenbisacrylamid-Lösung (MBA, w = 1%); Ascorbinsäure-Lösung (w = 1,9%); H₂O₂-Lösung (w = 0,6%); Natronlauge (c = 0,5 mol/L), Methanol

Sicherheitshinweise:

- Methanol ist leichtentzündlich und giftig  
 - MBA ist gesundheitsschädlich 
 - Acrylsäure, H₂O₂ und Natronlauge sind ätzend 
 - beim Zerteilen des Polymers in der Natronlauge sind Handschuhe zu tragen
- 

Durchführung:

1.Schritt: Quervernetzende Polymerisation

- Im Becherglas werden folgende Lösungen in der angegebenen Reihenfolge vermischt (zum Abmessen der Flüssigkeitsmengen Spritzen verwenden):

2,1mL destilliertes Wasser
 2,0mL Acrylsäure
 0,8mL MBA-Lösung (w = 1%)
 1,4mL Ascorbinsäurelösung (w = 1,9%)
 0,7mL H₂O₂-Lösung (w = 0,6%)

- Der Inhalt des Becherglases wird durch leichtes Schwenken gemischt und bei Raumtemperatur stehen gelassen (die Temperaturveränderung im Verlauf der Reaktion kann mit Hilfe eines Thermofühlers verfolgt werden).
- Die weitere Aufarbeitung (2. Schritt) kann sofort nach Abkühlung (evtl. Becherglas von außen mit fließendem Wasser kühlen) oder auch erst am nächsten Tag erfolgen.

2.Schritt: Partielle Neutralisation des Zwischenprodukts

- Das Zwischenprodukt wird in eine Kristallisierschale überführt und mit 40mL Natronlauge (c = 0,5 mol/L) übergossen.
- Mit Hilfe der beiden spitzen Pinzetten wird das Polymer hier in kleinere Stücke geteilt. (Handschuhe und Schutzbrille!)
- Nach vollständiger Absorption der Lösung durch das Gel (ca. 30min) gibt man ca. 100mL Methanol hinzu.
- Der Inhalt der Kristallisierschale wird ab und zu vorsichtig geschwenkt (nicht mit einem Werkzeug rühren, denn das Gel ist jetzt sehr klebrig!)
- Nach ca. 10min wird die Flüssigkeit abgegossen (Lösungsmittelabfall) und es werden 60mL Methanol zugefügt.
- Der letzte Vorgang wird (nach jeweils 10minütiger Inkubation) noch zweimal wiederholt; die Polymerstückchen müssen währenddessen je nach Konsistenz mit Hilfe der Pinzetten evtl. erneut voneinander bzw. von ihrer Unterlage gelöst werden.
- Nach dem letztmaligen Abgießen der Flüssigkeit werden die Produkte über Nacht unter dem Abzug zum Trocknen stehen gelassen (sie können auch im Trockenschrank bei ca. 80°C innerhalb von ca. einer Stunde getrocknet werden).

Die radikalische Polymerisation

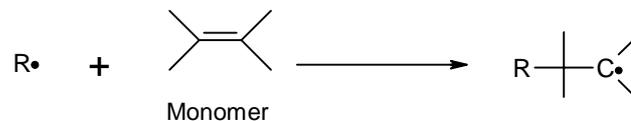
Eine Polymerisation ist eine Reaktion, bei der lauter gleichartige Moleküle (auch Monomere genannt) miteinander verknüpft werden. In der Regel besitzen diese Monomere Doppelbindungen, die zur Bildung der Polymerkette aufgebrochen werden.

Ein häufiger Reaktionsmechanismus ist die *radikalische Polymerisation*:

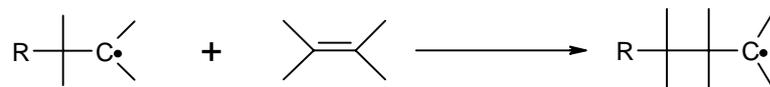
Zunächst wird die Reaktion durch sogenannte Initiatorradikale gestartet. Diese dürfen aber nur in sehr geringer Konzentration vorhanden sein.



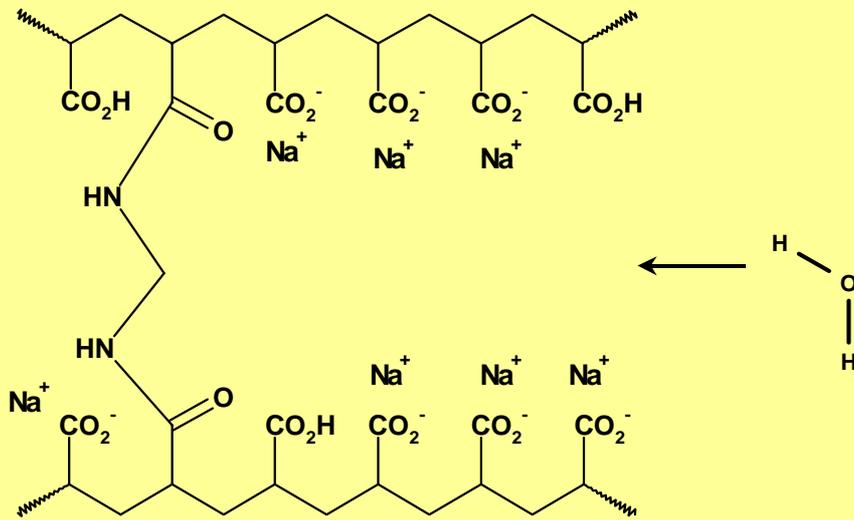
Diese Radikale können die Doppelbindung des Monomers aufbrechen, wobei ein neues Radikal entsteht:



Dieses neue Radikal greift nun wiederum eine weitere Doppelbindung an und setzt somit das Wachstum der Polymerkette fort:



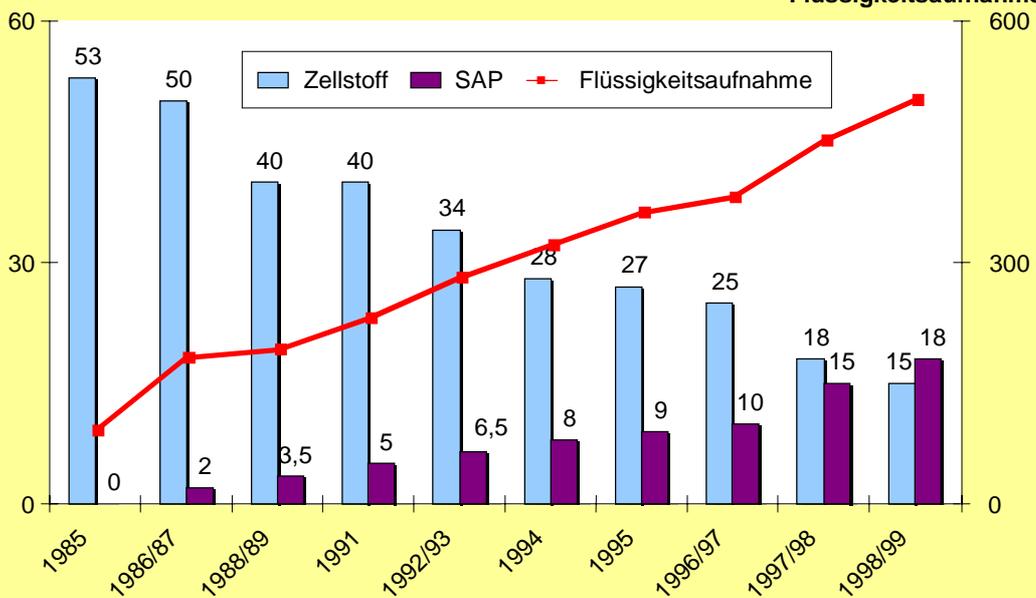
Prozesse beim Quellen in Wasser

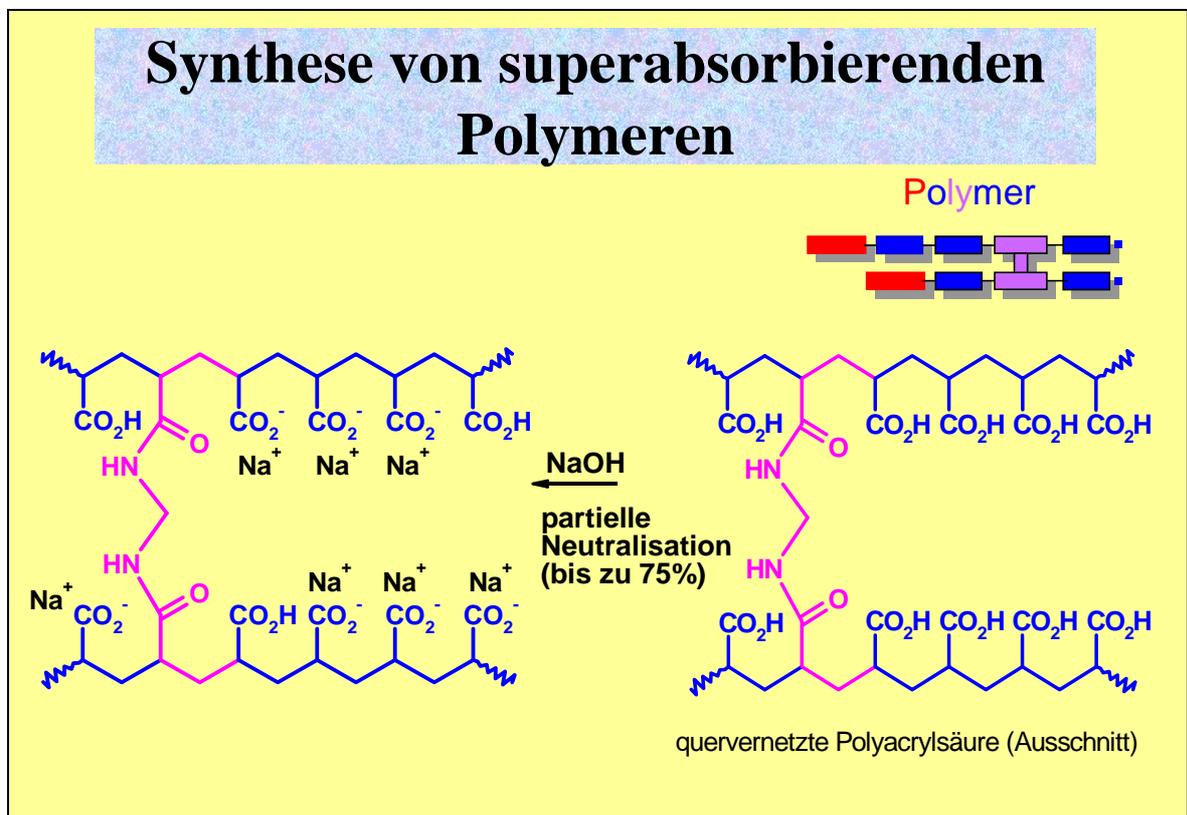
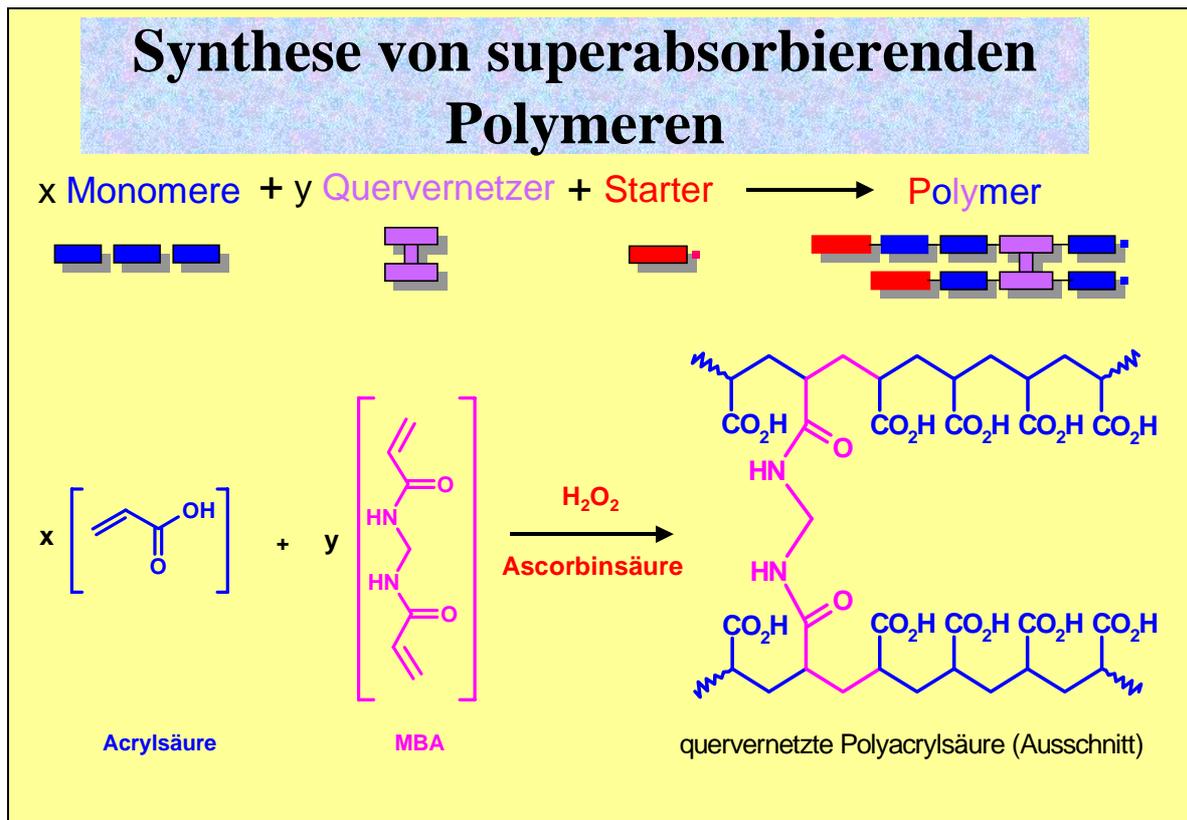


Zusammensetzung von Windeln

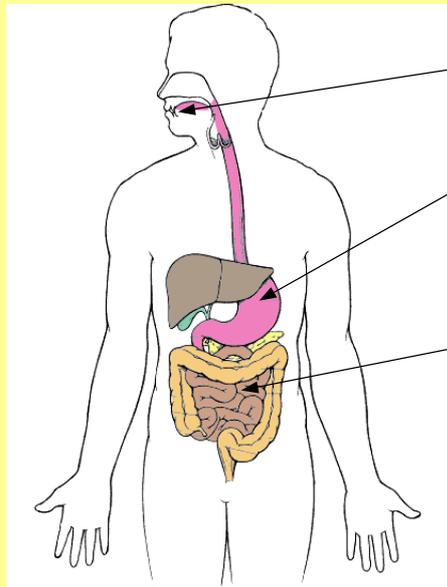
Zellstoff bzw. SAP in g

Flüssigkeitsaufnahme in g





Anwendung von SAP als drug-delivery-Systeme



Orale Aufnahme des Medikaments

Magen:

saures Milieu

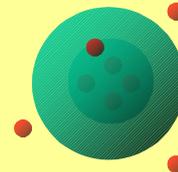
→ keine Quellung

Darm:

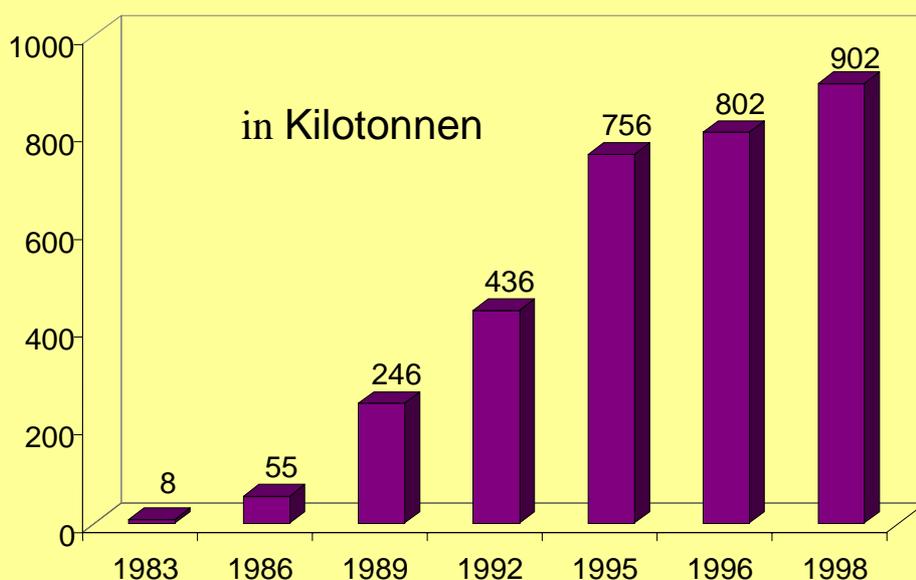
leicht basisches Milieu

→ Quellung des SAPs

→ Freisetzung des Wirkstoffs



Weltproduktion superabsorbierender Polymere

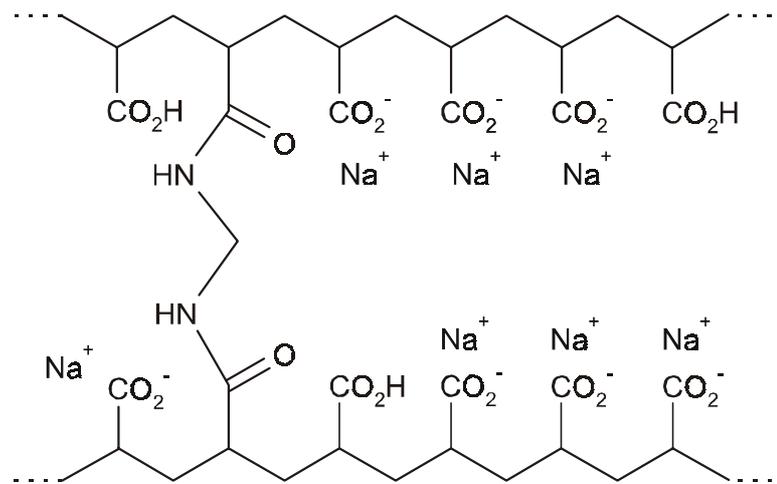


Chemische Struktur der superabsorbierenden Polymere

Superabsorbierende Polymere bestehen aus langen, kovalent gebundenen Molekülketten. An diesen Molekülketten befinden sich funktionelle Gruppen, von denen die meisten negativ geladen sind. Diese negativen Ladungen werden durch Kationen ausgeglichen.

An einigen Stellen sind die Polymerketten miteinander verknüpft. Diese Stellen im Makromolekül werden Quervernetzung oder crosslink genannt.

Die folgende Strukturformel zeigt einen Ausschnitt einer solchen Verbindung:



Bitte kennzeichnen sie Polymerkette, funktionelle Gruppen, Gegenionen und Quervernetzung mit unterschiedlichen Farben.

Bauen sie ein Modell des oben dargestellten Makromoleküls mit dem Molekülbaukasten.

Fragen zur Ergebnissicherung:

- Wie heißen die funktionellen Gruppen in der Polymerkette?
- Zu welcher Stoffgruppe gehören sie?
- Was ist der Unterschied zwischen -CO₂H und -CO₂⁻ Na⁺? Durch welche Kräfte werden die Natriumionen in dem Makromolekül gehalten?
- Nennen sie Beispiele für Stoffe, in denen diese funktionellen Gruppen noch vorkommen.

Ergebnissicherung der Stationenarbeit

Frage 1:

Sie haben sich mit folgenden Fragen auseinandergesetzt:

- Warum vergrößert sich das Hühnerei in destilliertem Wasser und schrumpft in Kochsalzlösung?
- Welche molekulare Struktur besitzt das SAP?
- Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Konzentration einer Salzlösung und der Fähigkeit des SAPs in dieser Lösung zu quellen?

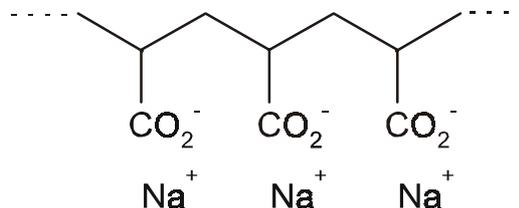
Kombinieren Sie Ihre Erkenntnisse zu einem Erklärungsmodell des Quellvorgangs eines superabsorbierenden Polymers.

Frage 2:

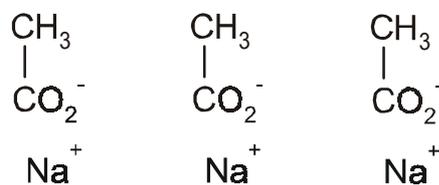
Ein SAP-Stückchen besitzt keine semipermeable Membran, wie das Hühnerei. Dennoch kann man prinzipiell die gleichen Vorgänge beobachten. Wieso?

Frage 3:

Stellen Sie sich vor, Sie hätten anstelle der Polymerkette



folgende Moleküle:



Wie heißt dieser Stoff?

Was passiert mit den Molekülen, wenn Sie sie in Wasser geben?

Warum bildet sich kein Gel?

Internetrecherche

Im Internet gibt es viele kommerzielle Anbieter von superabsorbierenden Polymeren bzw. von Produkten, die solche Substanzen enthalten. Wenn man Begriffe wie superabsorbierend oder superabsorbent (engl.) in Suchmaschinen wie <http://metacrawler.de> (bzw. [com](http://www.com)) eingibt, so erhält man eine Vielzahl von Ergebnissen. Notieren Sie die gefundenen Produkte und finden Sie heraus, welche Funktion das superabsorbierende Polymer in diesen hat.

Um den Einstieg zu erleichtern, sind hier einige Beispieladressen aufgeführt:

<http://www.stockhausen.de>

Die Firma Stockhausen aus Krefeld bietet einige Produkte aus superabsorbierenden Polymeren an, unter anderem FIRESORB©, ein Brandbekämpfungsmittel.

<http://www.digahole.com>

Diese US-amerikanische Firma bietet Produkte mit superabsorbierenden Polymeren für den Gartenbau an.

<http://www.basf.de>

Die Firma BASF aus Ludwigshafen stellt ein superabsorbierendes Polymer mit dem Namen HySorb© her. Auf der Homepage befindet sich eine Suchmaske.

<http://www.technical-absorbents.co.uk/>

Diese britische Firma stellt eine superabsorbierende Faser her.

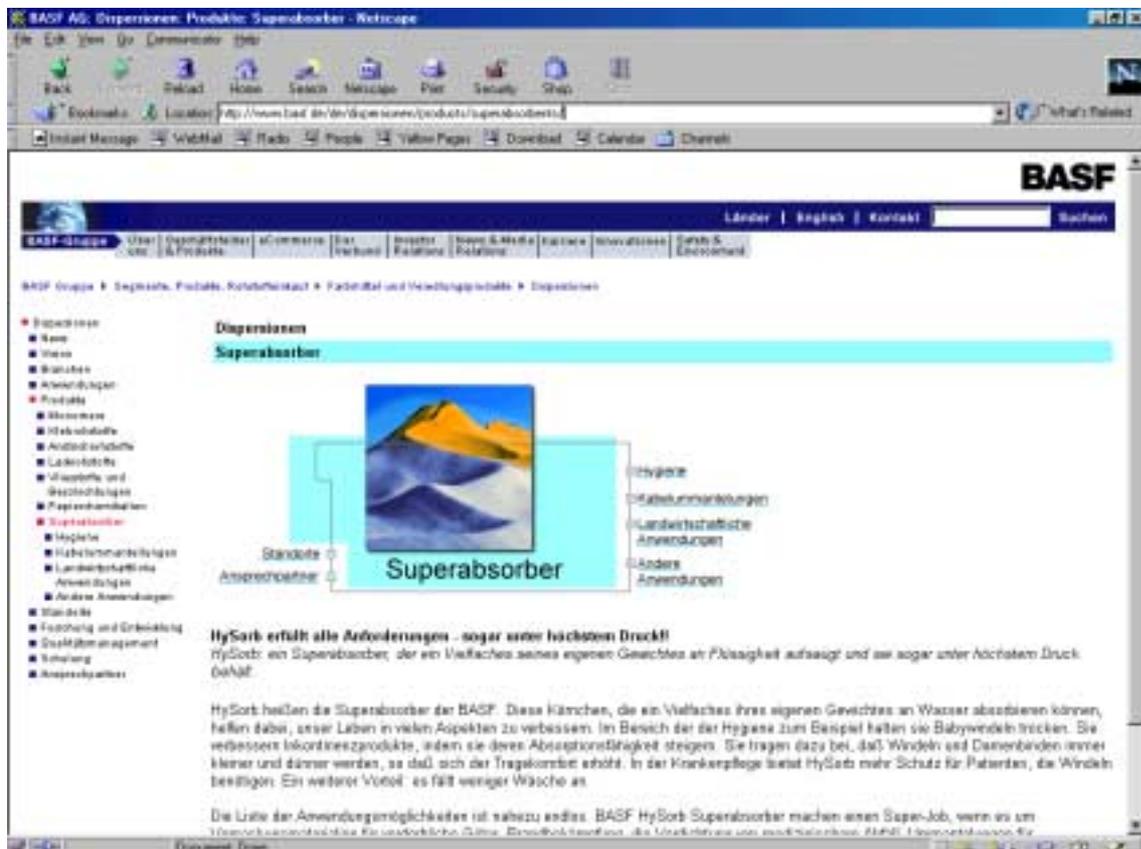
<http://www.terracottem.com>

Diese US-amerikanische Firma stellt Superabsorber für unterschiedliche Anwendungsbereiche, in erster Linie jedoch für den Gartenbau her. Unter „Applications & References“ gibt es viele Beispiele.

<http://www.hydro-gel.de>

Dies ist ein Anbieter von farbigen Superabsorbentien, die als Inhalt für Blumenvasen genutzt werden können.

Beispiele der kommerziellen Internetseiten über superabsorbierende Polymere



12.2 Materialien zur Unterrichtsreihe leitfähige Polymere

V1: Darstellung von Polypyrrol

Geräte und Substanzen:

400 mL Becherglas
 Spannungsquelle (Gleichstrom)
 Krokodilklemmen und Kabel mit Bananensteckern
 2 Edelstahl-Elektroden
 pH-Papier
 Multimeter

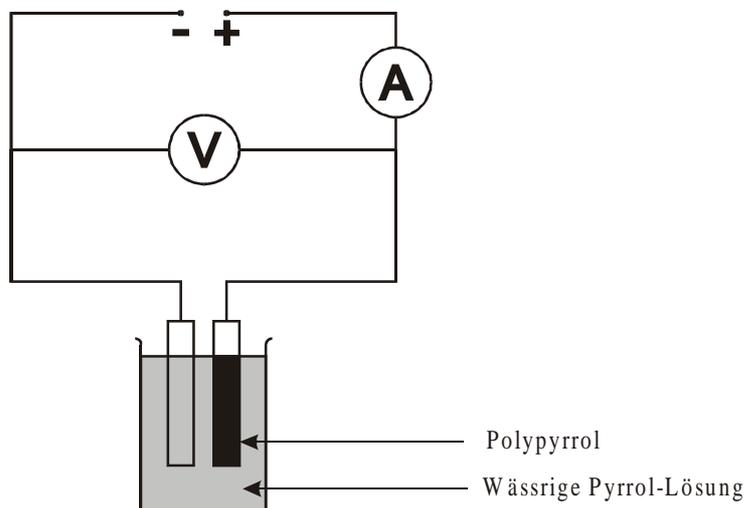
Pyrrol R 10

NaClO₄ R 9-22, S 2-13-22-27   Xn

Natriumlaurylsulfat R 22-36/38  Xn

Durchführung:

In einem 400 mL Becherglas werden 3,7g NaClO₄ (30 mmol) in 300 mL Wasser gelöst. Danach werden 2 mL (29 mmol) Pyrrol hinzugegeben, die sich nach 1-2 minütigem Rühren ebenfalls lösen. Zwei dünne Edelstahlfolien (2,5 x 7 cm unter Wasser) werden in die Lösung gehalten und entsprechend der Darstellung mit der Spannungsquelle verbunden. Nun wird mit einer Stromdichte von ca. 2 mA/cm² elektrolysiert. Unter den angegebenen Bedingungen ergibt sich bei einer Stromstärke vom 70 mA eine Spannung von ca. 3V. Es scheidet sich ein schwarzer Belag an der Anode ab. Streicht man während der Elektrolyse mit einem pH-Papier über die Anodenoberfläche, so ist eine deutliche Rotfärbung zu beobachten. Nach 30 Minuten wird der Elektrolysevorgang beendet, die Anode mit destilliertem Wasser abgespült und die Polypyrrol-Folie mit Hilfe einer Rasierklinge abgetrennt.



Elektrochemische Polymerisation von Pyrrol

Wird die Synthese mit Natriumlaurylsulfat als Leitsalz durchgeführt, so ist aufgrund der geringen Wasserlöslichkeit eine halbierte Stoffmenge von 4,3g (15 mmol) zu bevorzugen.

V2: Prüfung der Leitfähigkeit von Polypyrrol

Geräte und Substanzen:

Krokodilklemmen und Kabel mit Bananensteckern

Spannungsquelle

Objektträger

Verbraucher (Glühbirne o.ä.)

Polypyrrolfolie aus V1

Durchführung:

Die trockene Folie aus V1 mit Laurylsulfat als Gegenion wird auf einen Objektträger gelegt und mit Hilfe von zwei Krokodilklemmen in einen Stromkreis mit einer Glühlampe geschaltet. Nun wird die Spannung vorsichtig bis zum Glühen der Lampe erhöht.

Eine weitere Möglichkeit des Leitungsnachweises ist die Prüfung des Widerstandes mit Hilfe eines Multimeters mit Meßspitzen.

V3: Nachweis der Anioneneinlagerung

Geräte und Substanzen:

Pinzette

Bunsenbrenner

Schutzbrille

oxidierte und reduzierte Polypyrrolfolie

Durchführung:

Die Folie aus V1 mit ClO_4^- als Gegenionen wird sorgfältig mit destilliertem Wasser gewaschen. Hält man diese in eine Bunsenbrennerflamme (**Schutzbrille!**) so ist ein deutliches Knistern zu vernehmen (Dieser Versuch dient auch als ClO_4^- -Vorprobe in der qualitativen Analyse).

Als Vergleich dient die entladene Folie aus V4. Um vollständige Entladung zu gewährleisten, sollte noch für 5 min. eine entgegengesetzte Spannung von ca. 1 V angelegt werden. Der Bereich der Folie, der sich während des Entladevorgangs in der Lösung befand, wird abgetrennt, sorgfältig mit dest. Wasser gewaschen und ebenfalls in die Bunsenbrennerflamme gehalten. Er verkohlt ohne zu knistern.

V4: Der Zink/Polypyrrol-Akkumulator

Geräte und Substanzen:

400mL Becherglas
 Krokodilklemmen und Kabel mit Bananensteckern
 Spannungsquelle
 Multimeter
 Zink-Elektrode
 Verbraucher (Elektromotor o. ä.)

Perchlorat-dotierte Polypyrrolfolie aus V1

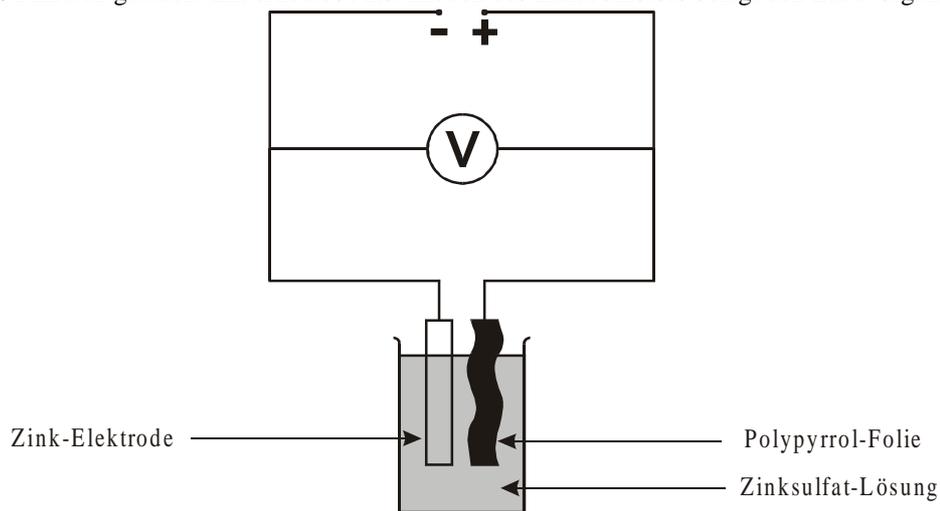


Zinksulfat-7-hydrat R 36/38-50/53, S 22-25-60-61 Xn

Durchführung:

In einem 400 mL Becherglas werden 9g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ (31 mmol) in 300 mL Wasser gelöst. Nun wird eine Zink-Elektrode und, an einer Krokodilklemme hängend, die Polypyrrol-Folie in die Lösung gehängt. Die Spannung zwischen den Elektroden beträgt zwischen 1,2 und 1,3 V. Spannt man anstelle des Voltmeters einen kleinen Elektromotor in den Stromkreis, so lässt sich dieser für 20-30 Minuten betreiben.

Nach der Entladung wird die Zelle entsprechend der Abbildung mit einer Stromquelle verbunden und bei 2V für 10 Minuten geladen. Ein erneutes Anschließen des Elektromotors belegt den Ladevorgang.



Aufladen des Zn/PPy-Akkumulators

V5: Messung der Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur

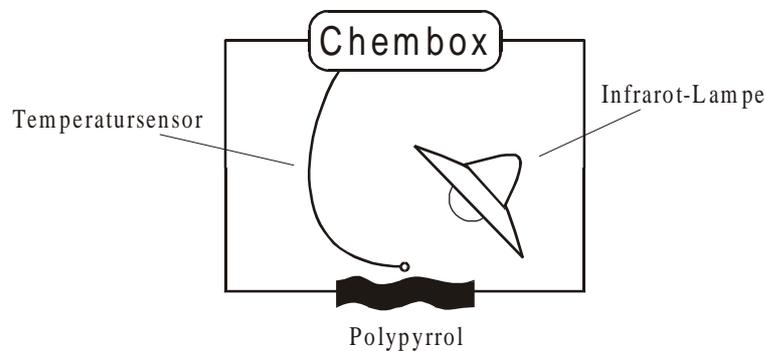
Geräte und Substanzen:

PC mit installierter *Chemex*[®]-Software
Chembox mit Verbindung zur seriellen Schnittstelle des PC
 NiCrNi-Temperatursensor
 Krokodilklemmen und Kabel mit Bananensteckern
 Objektträger
 Lampe mit Infrarotstrahler (250W)

Laurylsulfat-dotierte Polypyrrol-Folie

Durchführung:

Die Geräte werden entsprechend der Abbildung zusammengesetzt. Die Lampe sollte sich möglichst nahe an der mit den Krokodilklemmen auf dem Objektträger fixierten Polypyrrol-Folie befinden. Nachdem man den Temperaturwert der x-Achse und die Leitfähigkeit der y-Achse zugewiesen hat, wird die Aufnahme der Meßwerte gestartet und die Lampe angeschaltet.



Es sollte sich eine unruhige, aber steigende Kurve entwickeln. Ab ca. 50 °C ist die Lampe in der Regel nicht mehr in der Lage, die Temperatur der Folie weiter zu erhöhen. Hier sollte die Messung schnell abgebrochen werden, da die folgenden Werte noch ungenauer werden und die Grafik verfälschen. Um die erhaltenen Messwerte noch aufzuarbeiten, sollte die Wertetabelle in *MS-Excel*[®] oder ein vergleichbares Tabellenkalkulationsprogramm exportiert werden.

V6: Quantitative Bestimmung des Oxidationsgrades

Hier gilt die gleiche Versuchsbeschreibung wie für V1, die Ermittlung des Oxidationsgrads erfolgt rechnerisch (s. didaktischer Kommentar).

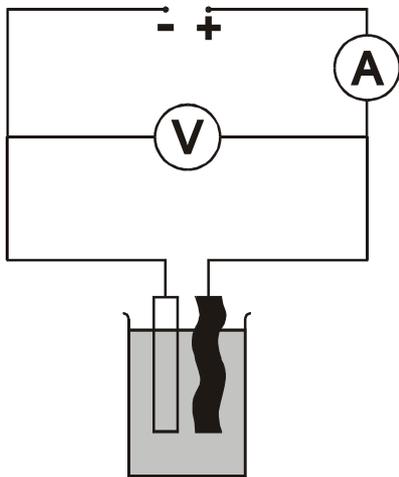
V7: Der Wirkungsgrad des Zn/PPy-Akkumulators

Geräte und Substanzen:

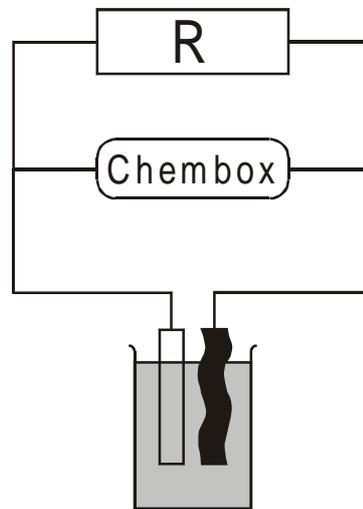
400mL Becherglas
 Krokodilklemmen und Kabel mit Bananensteckern
 Spannungsquelle
 2 Multimeter
 Zink-Elektrode
 definierter Ohmscher Widerstand (10 • o. ä.)
 PC mit installierter Chemex[®]-Software
 Chembox[®] mit Verbindung zur seriellen Schnittstelle des PC

Durchführung:

Bei einer Entladung durch einen Ohmschen Widerstand lässt sich die Leistung des Akkumulators leicht aus $P=U^2/R$ errechnen. Diese Formel wird im Menü *Einstellen* in das Feld für Eingang 1 eingegeben. Die gemessene Spannung wird also direkt als Leistung angegeben. Auf diesem Wege wird der Akkumulator zunächst bis zu einem bestimmten Wert entladen, welcher notiert wird.



Quantitatives Aufladen des Zn/PPy-Akkumulators



Quantitatives Entladen des Zn/PPy-Akkumulators

Aufladevorgang

Der Aufladevorgang verläuft nun wie in V4, wobei sowohl Spannung als auch Stromstärke gemessen, im 30 Sekunden-Takt abgelesen und notiert werden. Nach 5 Minuten wird der Vorgang beendet und die aufgenommene Energiemenge errechnet.

Entladung

Nun wird der Akkumulator bis zum Ausgangswert durch den definierten Widerstand entladen. Die somit erhaltene Kurve wird in ein Tabellenkalkulationsprogramm exportiert und dort integriert.

Das Verhältnis aus zugefügter und abgegebener Energie ist der Wirkungsgrad.

Gruppe 1: Mechanismen der Leitfähigkeit

Inhalt:

Die vorliegenden wissenschaftlichen Texte behandeln die Mechanismen der Leitfähigkeit in unterschiedlichen Stoffen, d.h. die Frage, warum Metalle, Graphit, Halbleiter und manche Polymere den elektrischen Strom leiten. Hierbei zeigen sich Parallelen, die Schlussfolgerungen auf allgemeine Prinzipien zulassen.

Arbeitsanleitung:

Erarbeiten Sie aus dem folgenden Material (und gegebenenfalls weiteren Quellen) einen kurzen Lehrgang für ihre Mitschüler(innen), in welchem die Mechanismen der Leitfähigkeit in den unterschiedlichen Materialien dargestellt und allgemeine Prinzipien der elektrischen Leitfähigkeit erarbeitet werden.

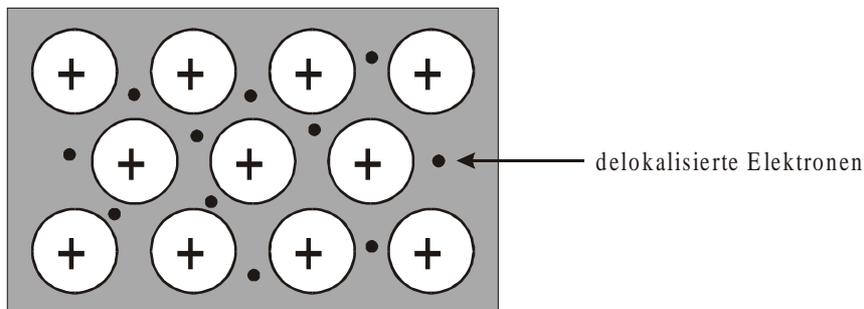
Material:

Metalle

„Bereits um 1900 wurde von Drude und Lorentz ein Modell der metallischen Bindung entwickelt, das auf klassischen Gesetzen beruht. Danach sind in Metallen die Gitterplätze durch positive Ionenrümpfe besetzt, die Valenzelektronen bewegen sich frei im Metallgitter. Im Gegensatz zu anderen Bindungsarten sind die Valenzelektronen also nicht an ein bestimmtes Atom gebunden, sondern delokalisiert, und ähnlich wie sich Gasatome im gesamten Gasraum frei bewegen können, können sich die Valenzelektronen der

Metallatome im gesamten Metallgitter frei bewegen. [...] Die Existenz des Elektronengases erklärt die gute elektrische und thermische Leitfähigkeit der Metalle. Beim Anlegen einer Spannung wandern die Elektronen des Elektronengases im Kristall in Richtung der Anode. Mit steigender Temperatur sinkt die Leitfähigkeit, da durch die mit wachsender Temperatur zunehmenden Schwingungen der positiven Atomrümpfe eine wachsende Störung der freien Beweglichkeit der Elektronen erfolgt.“

E. Riedel: „Anorganische Chemie“, 2. Aufl., Berlin; New York, 1990, Seite 164ff



Graphit

„Der durchsichtige Diamant und der schwarze Graphit unterscheiden sich außerordentlich stark in vielen ihrer Eigenschaften. Beide haben jedoch eine Gemeinsamkeit: Graphit ist wie Diamant aus Kohlenstoffatomen aufgebaut. [...] Das Graphitgitter besteht aus vielen übereinander-liegenden ebenen Schichten (s. Abbildung links). Jedes Atom einer Schicht ist mit drei gleich weit entfernten Atomen verbunden. Die Bindungswinkel betragen alle 120° . Die Kohlenstoffatome sitzen also in den Ecken regelmäßiger Sechsecke. An den Kohlenstoffatomen liegt eine sp^2 -Hybridisierung vor. Die

drei von jedem Atom ausgehenden Bindungen zu den Nachbaratomen in einer Ebene werden durch Überlappung der jeweiligen sp^2 -Hybridorbitale gebildet. [...] Bei der sp^2 -Hybridisierung verbleibt an jedem Kohlenstoffatom ein p-Orbital, das nicht zur Hybridisierung verwendet wurde. Diese p-Orbitale stehen senkrecht zu der durch die Kohlenstoffatome gebildeten Ebene (s. Abbildung rechts). [...] Man muss davon ausgehen, dass jedes p-Orbital mit jedem der drei p-Orbitale der Nachbaratome überlappen kann. Die Elektronen sind damit nicht einzelnen Bindungen zugeordnet

(lokalisiert), sondern können sich über die gesamte Schicht hinweg bewegen. Man spricht deshalb von delokalisierten Elektronen. In einem elektrischen

Feld können sich diese Elektronen längs einer Schicht bewegen. Dies erklärt die elektrische Leitfähigkeit des Graphits.“

W. Amman u.a.: „elemente. Chemie II“, Stuttgart, 1989, Seite 76f

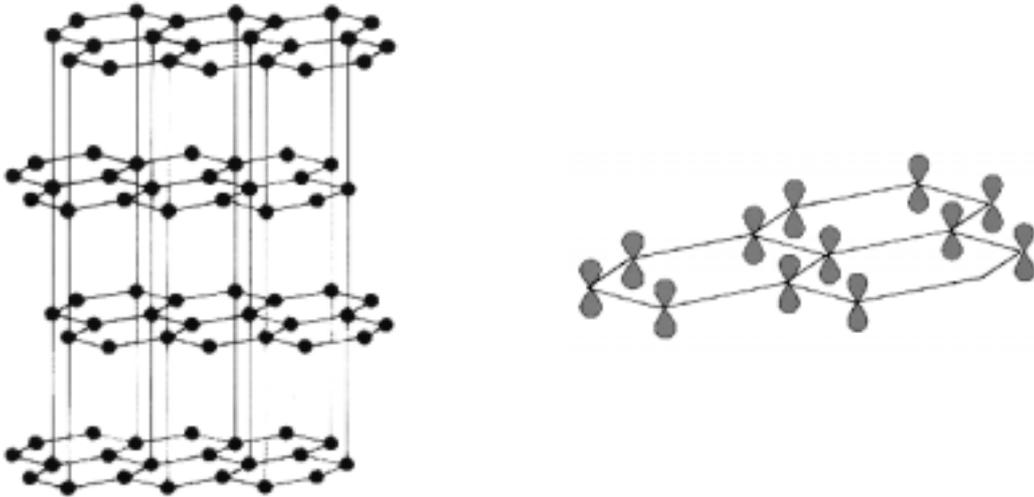


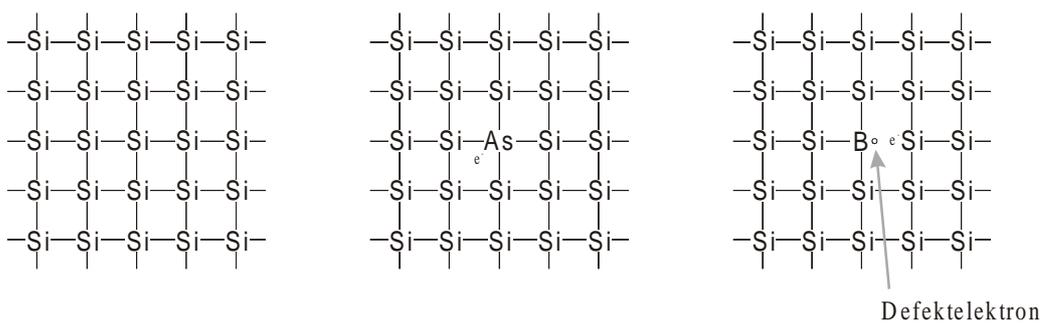
Abbildung: E. Riedel: „Anorganische Chemie“, 2. Aufl., Berlin; New York, 1990, Seite 473

Halbleiter

„Unter Halbleitern versteht man im allgemeinen kristalline Festkörper, deren elektrische Leitfähigkeit eine Zwischenstellung zwischen den beiden Extremfällen elektrischer Leiter, den Metallen, und den (idealen) Nichtleitern (Isolatoren) einnimmt. Das elektrische Verhalten der Halbleiter ist dadurch

bedingt, dass eine bestimmte Aktivierungsenergie aufgebracht werden muss, um Elektronen für den elektrischen Ladungstransport freizumachen. [...] In Halbleitern nimmt die Leitfähigkeit [...] stark mit der Temperatur zu.“

O.-A. Neumüller (Hrsg.): „Römpps Chemie-Lexikon“, 7. Auflage, Stuttgart, 1997, S. 1398f



„Die Elektrizitätsleitung in Materialien wie Silicium und Germanium kann durch Zusetzen von geringen Mengen bestimmter „Verunreinigungen“ (Dotierung von Halbleitern) verbessert werden. [...] Geringe Mengen von Bor oder Phosphor (einige ppm) können beim Ziehen des Siliciumeinkristalls in das Siliciumgitter eingebaut werden, wodurch *Störstellen* im Gitter entstehen. Der Phosphor besitzt fünf Valenzelektronen und verfügt somit über ein überschüssiges freies Elektron, selbst nachdem vier Elektronen für die vier kovalenten Bindungen in der Siliciumstruktur verbraucht worden sind. Dieses fünfte Elektron kann leicht unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes vom Phosphoratom entfernt werden und somit zur Stromleitung beitragen. Aufgrund dieser Elektronenabgabe bezeichnen wir den Phosphor als Elektronendonator. [...] Die entgegengesetzte Wirkung tritt ein, wenn an Stelle des Phosphors dem Silicium Bor zugesetzt wird: Das atomare Bor besitzt ein Elektron zu wenig für die Ausbildung der erforderlichen vier kovalenten Bindungen im Si-Gitter. Somit erhalten wir für jedes Boratom im

Siliciumkristall eine Leerstelle in einem bindenden Orbital. Es ist nun möglich, die Valenzelektronen des Siliciums in diese leeren Orbitale der Boratome hinein anzuregen, wodurch eine Bewegung der Elektronen durch den Kristall ermöglicht wird. [...] Ein Elektron eines Siliciumatoms, das dem Bor benachbart ist, geht in die Leerstelle des Bororbitals über (das Bor wirkt hier als Elektronenakzeptor), wodurch aber eine Leerstelle bei diesem Siliciumatom entsteht. [...] Das Ergebnis dieses Leitungsmechanismus ist ein Kaskadeneffekt, durch den sich ein Elektron von jedem Atom in einer Reihe von Atomen um einen Schritt zum Nachbaratom fortbewegt. Die Physiker ziehen es vor, diesen Leitungsmechanismus als Löcher- oder „Defektelektronen“-Leitung in die entgegengesetzte Richtung zu beschreiben, wobei dem Loch oder Defektelektron eine positive Ladung zugeschrieben wird.“

Dickerson/Gray/Haight: „Prinzipien der Chemie“, Berlin; New York, 1978, Seite 671ff

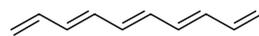
Polymere

Lange Zeit war es das Ziel von präparativ arbeitenden Chemikern, Makromoleküle mit einem möglichst ausgedehnten System konjugierter Doppelbindungen zu synthetisieren. Dies geschah in der Hoffnung, bei hinreichender Ausdehnung des π -Elektronensystems Quasiaromatizität, d.h. möglichst weitgehende Bindungsdelokalisierung, leichte Elektronenbeweglichkeit und damit hohen Ladungstransport entlang einer Polyenkette zu erreichen. [...] Tatsächlich [jedoch] sind die meisten Vertreter der [...] leitfähigen Polymere im Grundzustand Isolatoren, bestenfalls schlechte Halbleiter. Die hohe metallische Leitfähigkeit wird erst nach Behandlung mit einem geeigneten Oxidations- oder Reduktionsmittel erreicht. [...] A. J. Heeger und A. G. MacDiarmid beobachteten

1977 zum ersten Mal diesen Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit an der hochkristallinen Shirakawa-Modifikation des Polyacetylens. Die Zunahme der Leitfähigkeit betrug mehr als zehn Größenordnungen. Sie verglichen diesen Effekt mit der Dotierung eines anorganischen Halbleiters. Deshalb spricht man auch heute noch, dem Sprachgebrauch der Halbleiterphysik folgend, bei der oxidativen und reduktiven Behandlung konjugierter π -Elektronensysteme etwas irreführend von „Dotierung“.

K. Menke/S. Roth: „Metallisch leitfähige Polymere“, in: Chemie in unsere Zeit, 1/20. Jg., 1986, Seite 1f

Polyacetylen



undotiert



dotiert

Fragen zur Selbstkontrolle:

- Was ist die Voraussetzung für die elektrische Leitfähigkeit?
- Welche Teilchen transportieren die Ladung?
- Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit ein Polymer den elektrischen Strom leitet?
- Suchen Sie selbstständig nach Beispielen für Polymere, die theoretisch den Strom leiten müssten, bzw. Isolatoren sind. Begründen Sie ihre Wahl aufgrund der molekularen Struktur der Makromoleküle.

Gruppe 2: Elektrischer Strom

Inhalt:

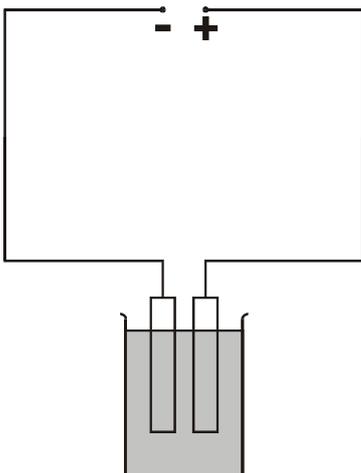
Ihre Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit den physikalischen Grundlagen der Elektrizitätslehre. Zentrale Begriffe sind Spannung, Stromstärke, Widerstand und Ladungsmenge.

Arbeitsauftrag:

Erarbeiten Sie aus Physik-Schulbüchern, ihren eigenen Physik-Aufzeichnungen, sowie beliebigen weiteren Informationsquellen einen kurzen Lehrgang für ihre Mitschüler(innen), in welchem Sie die Grundprinzipien der Elektrizitätslehre darstellen. Die folgenden Fragen zur Selbstkontrolle umreißen den Inhalt dessen, was gelehrt werden soll.

Fragen zur Selbstkontrolle:

- a) Welche Einheiten und Symbole haben folgende physikalische Größen:
 - Stromstärke
 - Ladungsmenge
 - Spannung
 - Widerstand
 - Leitfähigkeit
- b) Welche Zusammenhänge bestehen
 - zwischen Ladungsmenge und Stromstärke?
 - zwischen Leitfähigkeit und Widerstand?
 - zwischen Spannung und Stromstärke?
- c) Was ist der Unterschied zwischen Gleich- und Wechselstrom?
- d) Was ist eine Elementarladung?
- e) Eine Elektrolyse ist die durch elektrischen Strom bewirkte Umwandlung oder Zersetzung einer Ionen enthaltenden Lösung.
Die Abbildung zeigt den schematischen Aufbau einer Elektrolysevorrichtung. Wie würden Sie die angelegte Spannung und die Stromstärke messen?



- f) Ein Mol ist definiert als die Anzahl von Teilchen, die sich in 1 g des Kohlenstoff-Isotops ^{12}C befinden. Diese Anzahl bezeichnet man als Avogadro-Zahl; sie beträgt $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Berechnen Sie (in Coulomb) die Ladung eines Mols Elektronen. (Diese Größe heißt Faraday-Konstante, s. P. Tipler: „Physik“, S. 640.)

Gruppe 3: Polypyrrol

Inhalt:

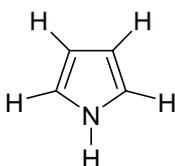
- Grundlegende Eigenschaften des Monomers Pyrrol
- Die Darstellung von Polypyrrol als Beispiel für eine elektrochemische Polymerisation
- Grundlegende Eigenschaften von Polypyrrol

Arbeitsanleitung:

Erarbeiten Sie aus dem vorliegenden Material einen kurzen Lehrgang für Ihre Mitschüler(innen), in welchem die Eigenschaften von Pyrrol und Polypyrrol, sowie dessen Herstellung dargestellt werden. Sie können selbstverständlich auch weitere Nachschlagewerke benutzen.

Material:

Pyrrol

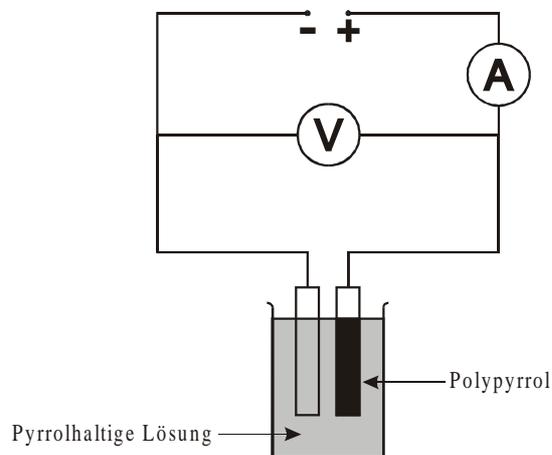


Pyrrol ist eine farblose, brennbare Flüssigkeit (Schmelzpunkt: -24°C , Siedepunkt: $130\text{-}131^{\circ}\text{C}$, Dichte: $0,969\text{ g/mL}$). Es ist in Wasser wenig, in den meisten organischen Lösungsmitteln jedoch gut löslich. An der Luft verfärbt es sich schnell braun und verharzt allmählich.

Es kommt in der Natur im Steinkohleteer vor. Viele Verbindungen leiten sich vom Pyrrol ab, so die Pyrrol-Aminosäuren (Prolin) und Pyrrol-Alkaloide (z.B. Nicotin). 1833 wurde das Pyrrol erstmals von Ferdinand Runge entdeckt

Polypyrrol

Pyrrol lässt sich auf elektrochemischem Wege polymerisieren. Das entstehende Polypyrrol ist ein schwarzer, unlöslicher Feststoff, der den elektrischen Strom leitet. Ende der 60er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde erstmals die Bildung von Polypyrrol durch anodische Oxidation auf einer Metallelektrode beschrieben.¹ Die Polymerisation kann in wässriger Lösung erfolgen, der zuvor ein Salz beigefügt wurde (s. Mechanismus e))

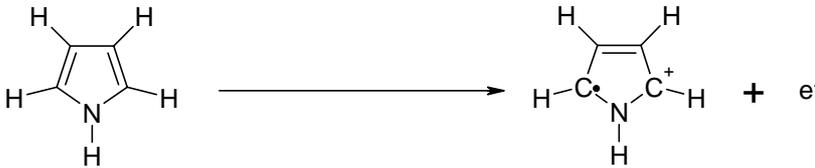


Schematischer Aufbau einer Apparatur zur elektrochemischen Polymerisation

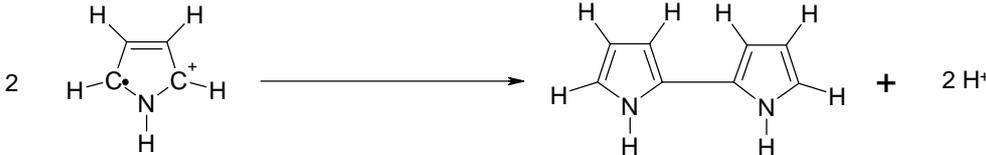
¹ vgl. B. Flintjer / W. Jansen: „Polypyrrol und Polypyrrol-Batterien“, S. 8.

Wenngleich der Mechanismus der Polymerisation bis heute nicht vollständig geklärt ist, kann man die Reaktion vereinfacht folgendermaßen darstellen:

- a) Das Pyrrol-Molekül wird direkt an der Anode zu einem Radikal-Kation oxidiert.

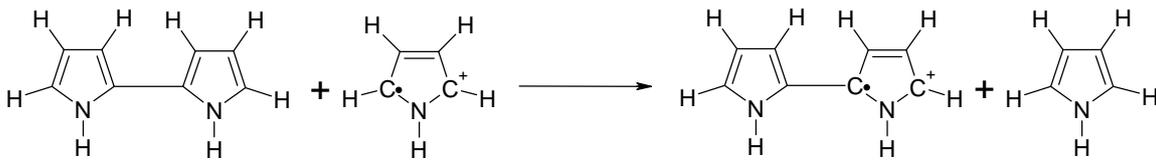


- b) Zwei Radikal-Kationen bilden unter Abgabe von H^+ -Ionen ein Dimer.

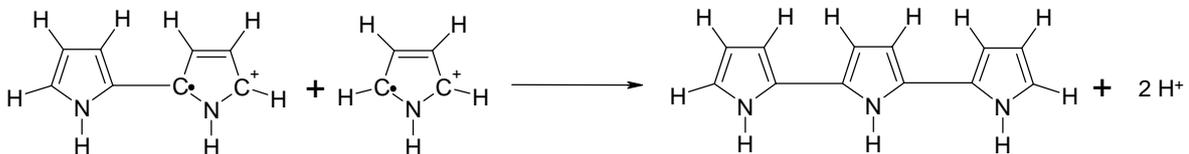


Die Polymerisation findet nur an der Elektrodenoberfläche statt. Die Reaktion ist also keine richtige Kettenreaktion, sie wird durch die Radikal-Kationen vorangetrieben, die ständig an der Elektrodenoberfläche gebildet werden (siehe a).

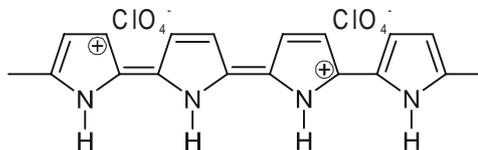
- c) Die Oligomere des Pyrrols sind leichter zu oxidieren als das einzelne Pyrrol-Molekül. Neu gebildete Pyrrol-Radikal-Kationen reagieren also in einer Redox-Reaktion mit diesen Oligomeren. Natürlich können die Oligomere auch direkt an der Elektrode oxidiert werden, das Pyrrol liegt aber in einem solchen Überschuss vor, dass diese Reaktion sehr viel wahrscheinlicher ist.



- d) Die Reaktion eines solchen oxidierten Oligomers mit einem weiteren Radikal-Kation führt zur Kettenverlängerung. Diese Reaktion ist analog zu b).



- e) Zeitgleich wird das gebildete Polypyrrol an der Anode weiter oxidiert. Die entstehenden positiven Ladungen werden durch Einlagerung von in der Lösung befindlichen Anionen (z. B. ClO_4^-) ausgeglichen:



Oxidiertes Polypyrrol, Ladungsausgleich durch Perchlorat-Ionen

Fragen zur Selbstkontrolle:

1. Erklären Sie das unterschiedliche Lösungsverhalten von Pyrrol.
2. Suchen Sie aus Lehrbüchern die Strukturformeln der angeführten Pyrrol-Derivate.
3. Um welche Sorte Polyreaktion handelt es sich bei der Darstellung von Polypyrrol?
4. Was passiert während der Polymerisation an der Kathode?

Gruppe 4: Elektrochemische Elemente

Inhalt:

- Der prinzipielle Aufbau eines elektrochemischen Elements
- Die chemischen Vorgänge an den Elektroden
- Wiederholung der Redoxchemie

Arbeitsanleitung:

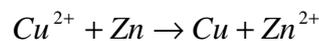
Erarbeiten Sie aus dem vorliegenden Material und weiteren Quellen einen kurzen Lehrgang für Ihre Mitschüler(innen), in welchem die Geschehnisse in einem elektrochemischen Element, insbesondere die dort ablaufenden Redoxreaktionen, verdeutlicht werden.

Sie können selbstverständlich auch weitere Nachschlagewerke benutzen.

Material:

Galvanische Elemente

Taucht man einen Zinkstab in eine Lösung, die Cu^{2+} -Ionen enthält, findet die Redoxreaktion



statt. Auf dem Zinkstab scheidet sich metallisches Kupfer ab, Zn löst sich unter Bildung von Zn^{2+} -Ionen.

Diese Redoxreaktion kann man in einer Anordnung ablaufen lassen, die galvanisches Element genannt wird (s. Abb.)

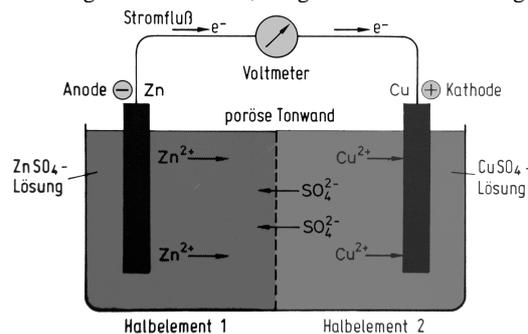
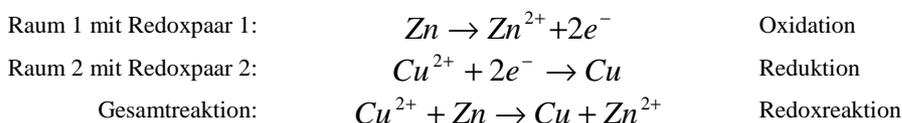


Abbildung: E. Riedel: „Anorganische Chemie“, 2. Aufl., Berlin; New York, 1990, Seite 326

Ein metallischer Stab aus Zink taucht in eine Lösung, die Zn^{2+} - und SO_4^{2-} -Ionen enthält. Dadurch wird im Reaktionsraum 1 das Redoxpaar Zn/Zn^{2+} gebildet. Im Reaktionsraum 2 taucht eine Kupferstab in die Lösung, in der Cu^{2+} - und SO_4^{2-} -Ionen vorhanden sind. Es entsteht das Redoxpaar Cu/Cu^{2+} . Die beiden Reaktionsräume sind durch ein Diaphragma, das aus porösem, durchlässigen Material besteht, voneinander getrennt. Verbindet man die Zn- und den Cu-Stab durch einen elektrischen Leiter, so fließen Elektronen vom Zn-Stab zum Cu-Stab. Zn wird in der gegebenen Anordnung zu einer negativen Elektrode, Cu zu einer positiven Elektrode. Zwischen den beiden Elektroden tritt eine Potentialdifferenz auf. Die Spannung des galvanischen Elements wird EMK, elektromotorische Kraft, genannt. Aufgrund der auftretenden EMK kann das galvanische Element elektrische Arbeit leisten. Dabei laufen in den beiden Reaktionsräumen folgende Reaktionen ab:



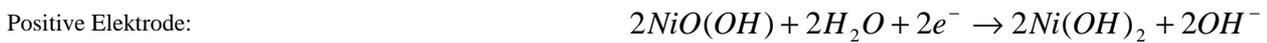
Zn-Atome in der Zinkelektrode gehen als Zn^{2+} -Ionen in Lösung, die dadurch im Zn-Stab zurückbleibenden Elektronen fließen zur Kupferelektrode und reagieren dort mit den Cu^{2+} -Ionen der Lösung, die sich als neutrale Cu-Atome am Cu-Stab abscheiden. Durch diese Vorgänge entstehen in der Lösung des Reaktionsraums 1 überschüssige positive Ladungen, im Raum 2 entsteht ein Defizit an positiven Ladungen. Durch Wanderung von negativen SO_4^{2-} -Ionen aus dem Raum 2 in den Raum 1 durch das Diaphragma erfolgt Ladungsausgleich.

E. Riedel: „Anorganische Chemie“, 2. Aufl., Berlin; New York, 1990, Seite 325ff

Elektrochemische Stromquellen

Galvanische Elemente sind Energieumwandler, in denen chemische Energie direkt in elektrische Energie umgewandelt wird. Man unterscheidet Primärelemente [und] Sekundärelemente [...]. Bei Primärelementen und Sekundärelementen ist die Energie in den Elektrodensubstanzen gespeichert, durch ihre Beteiligung an Redoxreaktionen wird Strom erzeugt. Sekundärelemente (Akkumulatoren) sind galvanische Elemente, bei denen sich die bei der Stromentnahme (Entladen) ablaufenden chemischen Vorgänge durch Zufuhr elektrischer Energie (Laden) umkehren lassen. [...]

Der Nickel-Cadmium-Akkumulator liefert eine EMK von etwa 1,3 V. Beim Entladen laufen folgende Elektrodenreaktionen ab:



E. Riedel: „Anorganische Chemie“, 2. Aufl., Berlin; New York, 1990, Seite 347

Fragen zur Selbstkontrolle:

- Was ist die Spannungsreihe der Metalle, und in welchem Zusammenhang steht sie mit den beschriebenen elektrochemischen Elementen?
- Bei einer Autobatterie bestehen die Pole aus Blei und Bleioxid (PbO_2). der Elektrolyt ist Schwefelsäure. Beim Entladevorgang entsteht an beiden Elektroden Bleisulfat (PbSO_4). Wieso handelt es sich hierbei um eine Redoxreaktion? (Stellen Sie zur Verdeutlichung die Reaktionsgleichungen auf!)
- Wieso kann man angelaufenes Silberbesteck reinigen, indem man es mit einem Stück Alufolie in eine Kochsalzlösung gibt?

12.3 Materialien zur Evaluation der Unterrichtsreihe SAP

Fragebogen zu den Experimenten

Heute bekommen Sie einen Fragebogen zu Ihrem Chemieunterricht. Ziel dieser Befragung ist es, Ihre Meinung zu den Experimenten zu erfahren. Wir versichern Ihnen, dass alle Angaben anonym bleiben, so dass kein Rückschluss auf Ihre Person möglich ist und dass keine Fragebögen an Ihre Lehrer weitergegeben werden.

Bitte tragen Sie hier Ihre Codenummer ein:

Vielen Dank und viel Spaß beim Ausfüllen!

Welche Experimente haben Sie durchgeführt?

Inwieweit stimmen Sie mit den folgenden Aussagen zum Experimentieren überein?

(Pro Aussage bitte nur eine Angabe)

| | stimmt völlig | stimmt eher | stimmt teils/teils | stimmt eher nicht | stimmt gar nicht |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ich habe gern experimentiert. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren war langweilig. | <input type="checkbox"/> |
| Mir hat das Experimentieren gefallen. | <input type="checkbox"/> |
| Experimente machen mehr Spaß als Unterricht ohne Experimente. | <input type="checkbox"/> |
| Ich konnte gut beobachten, was passierte. | <input type="checkbox"/> |
| Was ich beobachtet habe, fand ich einprägsam. | <input type="checkbox"/> |
| Es war schwierig zu erkennen, was vor sich ging. | <input type="checkbox"/> |
| Durch das Experimentieren habe ich etwas Neues gelernt. | <input type="checkbox"/> |
| Die Experimente passten zum Unterrichtsthema. | <input type="checkbox"/> |
| Die Experimente haben mir nichts Wichtiges vermittelt. | <input type="checkbox"/> |
| Mir ist unklar, was die Experimente mit dem Thema zu tun hatten. | <input type="checkbox"/> |
| Die Experimente waren sehr kompliziert. | <input type="checkbox"/> |
| Die Experimente waren einfach zu verstehen. | <input type="checkbox"/> |
| Ich fand die Experimente zu umständlich. | <input type="checkbox"/> |
| Die Experimente bestanden aus zu vielen Einzelschritten. | <input type="checkbox"/> |

| | stimmt völlig | stimmt eher | stimmt teils/teils | stimmt eher nicht | stimmt gar nicht |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Durch das Experimentieren habe ich Lust bekommen, mehr über das Thema zu erfahren. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren hat mich zum Nachdenken über das Thema angeregt. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren hat mich dazu gebracht, dass ich mich in meiner Freizeit mit dem Thema beschäftigen möchte. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren hat mich motiviert, auch mal zu Hause zu experimentieren. | <input type="checkbox"/> |
| Ich fand das Experimentieren langweilig. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren hat mich angeregt, mit anderen über das Thema zu diskutieren. | <input type="checkbox"/> |
| Durch das Experimentieren werde ich Berichte zu dem Thema in Zeitung, Radio oder Fernsehen aufmerksamer verfolgen. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren hat mich dazu gebracht, in Bücherei oder Internet mehr über das Thema zu suchen. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren war ungefährlich. | <input type="checkbox"/> |
| Ich hatte Angst, dass beim Experimentieren etwas Gefährliches passieren könnte. | <input type="checkbox"/> |
| Man musste sehr vorsichtig sein, um sich und andere nicht in Gefahr zu bringen. | <input type="checkbox"/> |
| Ich möchte lieber nicht mehr selbst experimentieren. | <input type="checkbox"/> |
| Ich würde gerne auch mal gefährlichere Experimente durchführen. | <input type="checkbox"/> |
| Der Umgang mit den Chemikalien war mir nicht geheuer. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren hat zu lange gedauert. | <input type="checkbox"/> |
| Durch das Experimentieren hatten wir zu wenig Zeit zum Aufschreiben und Verstehen des Themas. | <input type="checkbox"/> |
| Ich bin der Ansicht, dass mehr Unterrichtszeit zum Experimentieren genutzt werden sollte. | <input type="checkbox"/> |
| Die Experimentierphase fand ich zu knapp. | <input type="checkbox"/> |
| Das Experimentieren hat mich verwirrt. | <input type="checkbox"/> |
| Mir war unklar, wie ich die Beobachtungen interpretieren sollte. | <input type="checkbox"/> |
| Ein Text, Film oder Unterrichtsgespräch hätte mir sicherlich mehr Klarheit über das Thema verschafft als das Experimentieren. | <input type="checkbox"/> |
| Durch das Experimentieren verstehe ich das Thema besser. | <input type="checkbox"/> |

| | stimmt völlig | stimmt eher | stimmt teils/teils | stimmt eher nicht | stimmt gar nicht |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Es gab optisch etwas zu beobachten (sehen). | <input type="checkbox"/> |
| Man konnte etwas bestimmtes hören (akustische Beobachtung). | <input type="checkbox"/> |
| Ich konnte etwas riechen oder schmecken. | <input type="checkbox"/> |
| Es waren Temperaturänderungen zu spüren (Wärme oder Kälte). | <input type="checkbox"/> |
| Ich habe mit den Fingern untersucht, wie sich etwas anfühlt. | <input type="checkbox"/> |
| Im Experiment geschah etwas, das ich schön fand. | <input type="checkbox"/> |
| Die Versuchsanleitung war gut verständlich. | <input type="checkbox"/> |
| Aus der Versuchsanleitung ging genau hervor, was ich an Material und Chemikalien benötige. | <input type="checkbox"/> |
| Die Versuchsanleitung machte mir klar, was ich wie tun sollte. | <input type="checkbox"/> |
| Die Versuchsanleitung war vollständig. | <input type="checkbox"/> |
| Ich konnte erkennen, was auf der Skizze dargestellt war. | <input type="checkbox"/> |
| Die Details in der Skizze waren gut zu sehen. | <input type="checkbox"/> |
| Die Skizze war ausreichend beschriftet. | <input type="checkbox"/> |
| Falls mehrere Abbildungen vorhanden waren: Es war klar, wie die Abbildungen zusammenhängen. | <input type="checkbox"/> |
| Die Versuchsanleitung stellte klar, welche Sicherheitshinweise zu beachten waren. | <input type="checkbox"/> |
| In der Versuchsanleitung wurde ausreichend beschrieben, wie die Substanzen entsorgt werden sollten. | <input type="checkbox"/> |

Persönliche Angaben

Geschlecht

männlich

weiblich

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

Fragebogen zur Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere

Heute bekommen Sie unseren zweiten Fragebogen zu Ihrem Chemieunterricht. Ziel dieser Befragung ist es, Ihre Meinung zur Unterrichtseinheit **Superabsorbierende Polymere** zu erfahren. Wir versichern Ihnen, dass alle Angaben anonym bleiben, so dass kein Rückschluss auf Ihre Person möglich ist und dass keine Fragebögen an Ihre Lehrer weitergegeben werden.

Bitte tragen Sie hier Ihre Codenummer ein:

| | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|

Vielen Dank und viel Spaß beim Ausfüllen!

I Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere

In den ersten Fragen bitten wir Sie um einige Angaben zur Unterrichtsreihe **Superabsorbierende Polymere**.

1. Nennen Sie kurz die wesentlichen Inhalte der Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere.

2. Welche Inhalte hätten Sie innerhalb dieser Unterrichtsreihe lieber ausführlicher behandelt?

3. Welche waren Ihnen zu umfangreich?

4. Glauben Sie, dass die Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere für Ihr Leben von Bedeutung ist?

Ja, weil

Nein, weil

5. Was fanden Sie besonders interessant an dem Thema?

6. Welche Experimente fanden Sie besonders spannend?

7. Mit welchem Thema haben Sie sich während der Gruppenarbeitsphase beschäftigt?

Inwieweit stimmen Sie mit den folgenden Aussagen zur Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere überein (pro Aussage bitte nur eine Angabe)?

| | stimmt völlig | stimmt eher | stimmt teils/teils | stimmt eher nicht | stimmt gar nicht |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Das Thema war sehr theoretisch. | <input type="checkbox"/> |
| Das Thema befasste sich mit konkreten Dingen. | <input type="checkbox"/> |
| Das Thema war sehr abstrakt. | <input type="checkbox"/> |
| Ich finde das Thema eher trocken. | <input type="checkbox"/> |
| Ich habe für mich selbst etwas dazugelernt. | <input type="checkbox"/> |
| Ich möchte über dieses Thema gerne noch mehr erfahren. | <input type="checkbox"/> |
| Ich finde das Thema uninteressant. | <input type="checkbox"/> |
| Mit diesem Thema werde ich mich selbst weiter beschäftigen. | <input type="checkbox"/> |
| Ich war neugierig, wie es in der nächsten Stunde weiterging. | <input type="checkbox"/> |
| Dieses Thema ist für unsere Gesellschaft wichtig. | <input type="checkbox"/> |
| In Zukunft wird es von Bedeutung sein, sich mit dem Thema auszukennen. | <input type="checkbox"/> |
| Es ist wichtig, dass dieses Thema in der Schule behandelt wird. | <input type="checkbox"/> |
| Mit diesem Thema sollten sich alle Leute beschäftigen. | <input type="checkbox"/> |
| Im Unterricht wurde etwas behandelt, was in meiner normalen Lebenswelt vorkommt. | <input type="checkbox"/> |
| Der Unterricht hatte mit meinem Alltag nichts zu tun. | <input type="checkbox"/> |
| Im Unterricht kamen Dinge aus dem täglichen Leben vor. | <input type="checkbox"/> |
| Ich finde es interessant, ein Thema aus dem Alltag zu behandeln. | <input type="checkbox"/> |
| Mich motiviert es mehr, wenn im Unterricht Themen behandelt werden, die ich nur aus der Chemie kenne. | <input type="checkbox"/> |
| Wenn ich einen Zusammenhang zwischen Unterricht und meinem Alltag erkenne, steigt mein Interesse. | <input type="checkbox"/> |
| Im Chemie-Unterricht bin ich an speziell chemischen Themen interessiert und nicht an Alltagsthemen. | <input type="checkbox"/> |
| Es kamen verschiedene Unterrichtsformen zum Einsatz. | <input type="checkbox"/> |
| Der Unterricht lief meistens nach demselben Schema ab. | <input type="checkbox"/> |
| Die Unterrichtsformen waren abwechslungsreich. | <input type="checkbox"/> |

| | stimmt völlig | stimmt eher | stimmt teils/teils | stimmt eher nicht | stimmt gar nicht |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Durch die Vielfalt der Unterrichtsformen hatte ich einen besseren Zugang zum Thema. | <input type="checkbox"/> |
| Dass die Unterrichtsformen so unterschiedlich waren, hat den Zugang zum Thema erschwert. | <input type="checkbox"/> |
| Ich finde es motivierend, dass verschiedene Unterrichtsformen zum Einsatz kamen. | <input type="checkbox"/> |
| Ich kann mich leichter in ein Thema einarbeiten, wenn der Unterricht stets nach demselben Schema abläuft. | <input type="checkbox"/> |
| Die Vielfalt der Unterrichtsformen hat mein Interesse gesteigert. | <input type="checkbox"/> |
| Wir haben vieles eigenverantwortlich erledigt. | <input type="checkbox"/> |
| Als wir eigenverantwortlich gearbeitet haben, haben wir viel miteinander kommuniziert. | <input type="checkbox"/> |
| Wir haben vieles selbst erarbeitet. | <input type="checkbox"/> |
| Beim eigenen Erarbeiten haben wir untereinander Erfahrung und Wissen ausgetauscht. | <input type="checkbox"/> |
| Mir hat es gefallen, beim Erarbeiten mit den anderen zu kommunizieren. | <input type="checkbox"/> |
| Dass wir beim eigenverantwortlichen Lernen Erfahrungen und Wissen ausgetauscht haben, fand ich motivierend. | <input type="checkbox"/> |
| Ich finde es interessant, eigenverantwortlich zu arbeiten und mich mit den anderen auszutauschen. | <input type="checkbox"/> |
| Ich lerne lieber alleine, also ohne Gespräche mit den anderen. | <input type="checkbox"/> |
| Die Lehrperson ist als „Lernberater“ statt als Lehrer aufgetreten. | <input type="checkbox"/> |
| Die Lehrperson hat uns ihr Wissen vermittelt, anstatt uns die Erarbeitung zu überlassen. | <input type="checkbox"/> |
| Die Lehrperson hat uns beim Erarbeiten des Stoffs beraten, anstatt uns das Wissen einfach weiterzugeben. | <input type="checkbox"/> |
| Die Lehrperson hat uns den Stoff selbst erarbeiten lassen. | <input type="checkbox"/> |
| Die Lehrperson hat uns beim Erarbeiten des Stoffs geholfen und beraten. | <input type="checkbox"/> |
| Ich kam gut damit klar, dass die Lehrperson eher als „Lernberater“ als als Lehrer aufgetreten ist. | <input type="checkbox"/> |
| Ich finde es schlecht, dass wir uns den Stoff selbst erarbeiten mussten. | <input type="checkbox"/> |
| Mir hat gefallen, dass die Lehrperson uns beim Erarbeiten des Stoffs geholfen und beraten hat. | <input type="checkbox"/> |
| Mir ist es lieber, wenn die Lehrperson uns ihr Wissen weitergibt, anstatt uns beim Erarbeiten nur zu beraten. | <input type="checkbox"/> |
| Ich akzeptiere die Rolle der Lehrperson als „Lernberater“. | <input type="checkbox"/> |

Wie haben Sie sich außerhalb der Schulstunden mit dem Thema Superabsorbierende Polymere beschäftigt (z.B. für Ihre Hausaufgaben oder aus persönlichem Interesse)?

- Ich habe über bestimmte Aspekte weiter nachgedacht.
- Ich habe mich mit anderen Leuten über dieses Thema unterhalten.
- Ich habe zusätzliche Bücher gelesen.
- Ich habe Fachzeitschriften gelesen.
- Ich habe Artikel in der Tageszeitung gelesen.
- Ich habe im Internet nach weiteren Informationen gesucht.
- Ich habe Sonstiges getan, und zwar _____
- Nein, ich habe mich außerhalb des Unterrichts nicht mit diesem Thema beschäftigt.

II Gruppenarbeit

Nun möchten wir Ihre Meinung zur Gruppenarbeit während der Unterrichtsreihe Superabsorbierende Polymere erfahren.

Was hat Ihnen an der Gruppenarbeit gut gefallen?

Was hat Sie an der Gruppenarbeit gestört?

Beurteilen Sie folgende Aspekte der Gruppenarbeit:

| | stimmt völlig | stimmt eher | stimmt teils/teils | stimmt eher nicht | stimmt gar nicht |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Während der Gruppenarbeit habe ich mehr gelernt als sonst. | <input type="checkbox"/> |
| Die Gruppenarbeit war nicht so erfolgreich. | <input type="checkbox"/> |
| Alleine zu lernen finde ich effektiver als Gruppenarbeit. | <input type="checkbox"/> |
| Mit meiner Gruppe konnte ich gut zusammenarbeiten. | <input type="checkbox"/> |
| Ich finde es schwierig, etwas gemeinsam zu erarbeiten. | <input type="checkbox"/> |
| Es war nervig, mich mit den anderen abstimmen zu müssen. | <input type="checkbox"/> |
| Wir haben problemlos zusammengearbeitet. | <input type="checkbox"/> |
| Es gab oft Reibereien. | <input type="checkbox"/> |
| Bei der Gruppenarbeit herrschte eine angenehme Atmosphäre. | <input type="checkbox"/> |
| Vom Klima in der Gruppe war ich enttäuscht. | <input type="checkbox"/> |
| Wir haben uns gut verstanden. | <input type="checkbox"/> |

In den folgenden Fragen bitten wir Sie, die *Auswertungsphase* der Gruppenarbeit zu beurteilen.

| | stimmt völlig | stimmt eher | stimmt teils/teils | stimmt eher nicht | stimmt gar nicht |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Es war leicht, den anderen unsere Ergebnisse vorzustellen. | <input type="checkbox"/> |
| Wir wussten nicht genau, worauf es bei der Präsentation ankam. | <input type="checkbox"/> |
| Unsere Ergebnispräsentation verlief schleppend. | <input type="checkbox"/> |
| Ich habe die Erklärungen der anderen Gruppen gut verstanden. | <input type="checkbox"/> |
| Ich habe von den anderen Gruppen etwas gelernt. | <input type="checkbox"/> |
| Die Ergebnisse der anderen Gruppen hätten besser aufbereitet und präsentiert werden müssen. | <input type="checkbox"/> |
| Die ZuhörerInnen haben gut mitgemacht. | <input type="checkbox"/> |
| Die Atmosphäre bei der Präsentation war nicht so berauschend. | <input type="checkbox"/> |
| Die ZuhörerInnen zeigten Interesse an den Ergebnissen der anderen Gruppen. | <input type="checkbox"/> |
| Die Ergebnispräsentation haben wir selbständig hinbekommen. | <input type="checkbox"/> |
| Die Lehrperson musste oft eingreifen. | <input type="checkbox"/> |
| Insgesamt war die Präsentation eine unsichere Angelegenheit. | <input type="checkbox"/> |
| Die Auswertungsphase war spannend. | <input type="checkbox"/> |
| Die Ergebnisse der einzelnen Gruppen haben mich interessiert. | <input type="checkbox"/> |
| Die Ergebnispräsentation war langweilig. | <input type="checkbox"/> |

III Persönliche Angaben

Geschlecht

männlich

weiblich

Endnote Chemie Klasse 10

Vielen Dank für Ihre Mithilfe!

Transkript der Gruppendiskussion von Gruppe 1 (S-Schule)

Was ist ein SAP?

Kategoriekomplex chemische Struktur

S2: (0,31-0,38)

Wir sollten doch nun endlich erzählen, was jetzt die superabsorbierenden..., na was das überhaupt ist und nicht was wir gemacht haben.

S1:(0,40-0,45)

Du musst doch erst mal erzählen, was wir gemacht haben und woraus wir es geschlossen haben.

S1: (1,36-2,25)

Die sind eben so aufgebaut. Du kennst doch Alkansäuren mit der COOH- Gruppe, funktionelle Gruppe. Dann haben wir eine Strukturformel auf dem Zettel bekommen und sollten anhand der Strukturformel erklären, warum es Wasser aufnehmen kann. Das war halt so, dass wir eine lange Kohlenstoffkette hatten; auf der einen Seite, wo halt zu 75% an dem C- Atom eine funktionelle Gruppe angelagert war mit COOH. Und dann war, glaub` ich an jedem dritten... oder an jedem viertem C- Atom, dass nicht die funktionelle Gruppe daran war, sondern, dass es eine Wechselwirkung oder eine Ionenbindung zwischen COO-, so dass ein Wasserstoff abgespalten wurde und statt dessen ein Natrium angelagert wurde.

S4: (2,31-2,48)

Wir haben ja schon gesagt, dass der Grundbaustein der Sache ist `ne langkettiges Polymer, also eine lange Kette, an die, glaube ich, bestimmte Gruppen angelagert sind.

S3: (2,50-2,52)

An jedem viertem war `ne funktionelle Gruppe.

Kategoriekomplex Prozess der Wassereinlagerung

S1: (0-0,29)

Und durch andere Experimente, das war glaube ich mit Osmose, mit einem geschältem Ei, einem gepelltem, aber das halt noch die Haut drum rum war. Das wird in eine Salzlösung gepackt und das Ei immer schwerer wird. Das habe ich aber nicht selber geschafft; das mussten andere machen. Und da haben wir eine Struktur daraus erarbeitet. Das hat einen Effekt von einer Säure, glaube ich oder ähnliches. Und was haben wir noch gemacht?

S3:(1,17-1,36)

Ich würd` erst mal sagen, was ein SAP ist. SAP haben die Fähigkeit Wasser aufzunehmen, im ziemlich hohem Maße. Irgendwie 1 g Polymere können 1000 g H₂O aufnehmen. Und das haben wir untersucht.

S4: (2,55-2,58)

Jetzt könnt ihr eben noch weitererzählen, bis ich hier fertig angeschrieben habe.

S4: (3,59-5,03)

Also, passt auf. Gehen wir rein von der Struktur aus. Wir haben...Ich glaube die Struktur selber... Darf ich mal bitte reden? Also die Struktur selber haben wir so nicht rausbekommen. Ich glaube dafür hatten wir nicht allzu viel Zeit aufwenden müssen, deshalb haben wir dann gegeben bekommen und... Aber wir haben erklärt, wie die Bindung von H₂O daran funktioniert. Und jetzt haben wir erst mal besprochen, wie das aufgebaut ist. Da ist eben ein langkettiges Polymer, was ... aus kurzkettigen Monomeren halt eben in dieser Synthese dann zusammengebaut wird und... Die ist hier ein Quervernetzter – so wird's genannt. Da fehlt noch was. Und der ist dafür da, dass diese langen Ketten halt eben zusammengehalten werden. Einfach von der Stabilität da drin.

S5: (5,03-5,04)

Und was ist mit der negativen Ladung?

S4: (5,04-5,49)

Ja das kommt ja jetzt und zwar haben wir jetzt einmal negative Teile oder Stellen sage ich mal so und hier wieder nun was positives durch das Wasserstoffproton hier. Und dies ist eins, zwei, drei zu 75% negativ und 25% positiv und das ist halt eben dafür, dass dieses... Wenn wir jetzt nur negative Sachen hätten, die wir dazu brauchen, um das Wasser auch wirklich zu speichern, was ich dir noch gleich erklären werde, wenn `s nur negativ wär, dann würde sich alles sofort abstoßen, dass diese Stabilität innerhalb der Kettenlänge des Moleküls nicht da wär. Also, diese Dinger sind für die Stabilität im Molekül...

S3: (5,49-5,51)

Da hat sich aber irgendwann Wasserstoff abgespalten.

S5: (5,54-5,56)

Man müsste jetzt noch Natrium um überhaupt Wasserstoff abzuspalten.

S4: (5,56-6,12)

Danke, das fehlt hier noch. Also, das sind hier Ionen, Natriumionen, die da drin vorhanden sind, so dass eine Ionenbindung dazwischen auftritt.

S4: (7,07-7,46)

Also, das ist halt eben so, dass die... Also, Wasser ist ein Dipol. Das weißt du ja. So, und dann haben wir hier ein Sauerstoff und das ist ja hier eine negative Partialladung und hier eine positive. Und aufgrund dieses Dipols und dieser negativen Ladung hier ,

werden wir mal... Die sind negativer als Ionen und das Wasser lagert sich halt also als Dipol hier ein, als Hydrathülle.

S6: (7,46-7,48)

Das ist doch neutral, oder?

S4: (7,40-8,58)

Nee... das sind ja nur Ionen. Also, ich sag das mal so. Wenn man sie ins Wasser gibt, dann wird dies frei beweglich und bleibt da jetzt nicht direkt... So genau weiß ich 's nicht direkt, aber auf jeden fall dies ist ja immer noch negativ. Das ist ja praktisch in Anführungsstrichelchen nur nach außen hin neutral, weil ein Gegenpol dazu da ist. Aber, wenn jetzt weitere positive Ionen da reinkommen, also, wenn da mehr Natriumionen reinkommen, die würden sich da drum anlagern, weil sie ja positiv geladen sind. Also, negatives und positives ziehen sich an. Genau so wie eine Hydrathülle. Da geht ja nicht nur an so 'n, da wird ja nicht nur ein Wasserstoff- quatsch- ein Wassermolekül rangehen, sondern da würden sie sich rumlagern. Das ist auch halt eben, was da passiert, dass die sich hier reinlagern in diese Ketten, speziell halt an diese Carboxylatgruppen. Und da wird das Wasser gespeichert.

S6:

Natriumionen werden frei beweglich

S6:

Das Wasser ist dann weg. Das ist dann gespeichert.

S4:

Also, wenn mehr Wasser vorhanden ist, also gebunden wird, dann werden die Natriumionen schon nach außen rausbefördert, weil ja draußen der osmotische Druck oder weil es nicht mehr wie der osmotische Druck nach innen oder außen wirkt. Auf jeden fall wandern die Natriumionen aufgrund einer geringeren Konzentration von Natriumionen außerhalb der Moleküle nach außen. OK. Dann lagert sich da immer mehr Wasser an. Wenn du kein Wasser mehr aufzunehmen hast, also praktisch alles Wasser gebunden ist, dann müssen zwangsläufig die Natriumionen auch da drin sein. Sie können nicht einfach rausfliegen, geht ja gar nicht. Aber sie sind auf jeden fall da drin frei beweglich. Und das Wasser ist da drin zwischen dem...

S3: ...als Hydrathülle

S4: ...als Hydrathülle da drum gelagert und gebunden.

S6: (10,21-10,22)

Und wenn man 's verbrennt?

Transkript der Gruppendiskussion von Gruppe 2 (D-Schule)

Was ist ein SAP?

Kategoriekomplex chemische Struktur

Schüler 3: (1,27-1,39 min.)

Vor allem die Strukturformel. Ich denke das ist das Wichtigste. Wenn man es mit den Carboxylgruppen anzeichnet und mit den Coulombkräften bewirken ???kann und sich am besten vorstellt, wie es dazu kommt, dass so viel Wasser von einem Stoff gespeichert wird.

Schüler 3: (2,05-3,20 min.)

Das sind unsere Kohlenstoffketten und hier haben wir die Querverbindungen. Ich glaub da war HN drin. Also, dieses HN stabilisiert sozusagen...Das ist eine Querverbindung, die stabilisiert erst mal das ganze Molekül. Und hier haben wir überall COO- und Na+. OK, das ist das Molekül. Und dann gibt's auch mal noch eine vollständige Gruppe COOH. Das haben wir auf der Gegenseite genauso. Und dann wirken sozusagen hier...unter der Ionenbindung und wirken hier drum die Coulombkräfte. Und dann bilden sich hierzwischen und dazwischen eine Wassermolekülstruktur aus und deshalb kann es sozusagen soviel speichern überhaupt. So würde ich es demjenigen erklären.

Schüler 2: (3,21-3,24 min.)

Und dazwischen wirken noch mal WBB.

Schüler 3: (3,24-3,26 min.)

Ja, genau zwischen den einzelnen Wassermolekülen.

Schüler 5: (4,58-5,14 min.)

Ich denk so, dass würde ich auch machen. Und dann dass eben, immer jeweils an der Formel direkt erläutert, wieso das so ist. Zum Beispiel eben, dass man daran sehen kann, dass es wirklich jetzt keine feste Bindung eingegangen wird - z.B. eine Atombindung, weil sonst würde es ja bei mehrmaligem Wiederholen zerstört werden. Und es wird nicht zerstört!

Schülerin 1: (9,12-9,33 min.)

Kohlenkette mit Carboxylgruppen und das dazwischen eben also so einer Formel versuchen aufzuzeichnen und erklären eben, dass die Zwischencoulombkräfte wirken und die Wasserstoffbrückenbindung und dass dadurch eben sehr viel Wasser aufgenommen werden kann und so der Stoff Wasser speichern kann und selektiv abgeben kann.

Kategoriekomplex

Prozess der Wassereinlagerung

Schüler 4: (4,57-4,51 min.)

Vielleicht sollten wir noch mal erwähnen, dass sich nach Abgabe des Wassers wieder in den alten Zustand zurückentwickelt. Und der Vorgang beliebig oft wiederholbar ist und wir ihn öfters gemacht haben

Schüler 1: (9,54-10,06 min.)

Man könnte eine Definition allgemeiner fassen. Weil man nicht den Überblick hat über alles. Es kann ja z.B. welche geben, die keine Carboxylgruppen enthalten.

Schüler 2: (10,56-11,24 min.)

Na ja, eigentlich was ein Essential sein müsste ist, dass es zwei Ketten gibt, die Querverbindungen haben. Und zwischen diesen beiden Kräften wirken Coulombkräfte, die eine große Menge an Wasser speichern können. Das erhöht sich dadurch dann noch, dass WBB zwischen einzelnen Wassermolekülen da verlaufen.

Schüler 5: (11,25-11,54 min.)

Also ich denke, dass ist sogar vielleicht auch weniger. Erst mal würde ich sagen, dass ein Essential ist, dass ein Polymer ist, also eine lange Kette oder vielleicht sogar ein Ringsystem, also aus mehreren Bausteinen besteht, und dann, dass vielleicht Coulombkräfte existieren. Ich denke das wird bei den meisten super absorbierenden Stoffen so sein und ich denke mir. Mehr ist schon fast nicht, denn es könnte ja ein Ringsystem sein oder vielleicht eine andere Zwischenverbindung ausbilden.

Schüler 1: (11,57-12,01 min.)

Man könnte noch sagen, dass es eine organische Verbindung sein soll.

Schüler 2: (12,34-12,42 min.)

Das ist halt die Frage. Ich denke es wird schon eine Querverbindung geben, ich weiß es nicht. Die müssten ja zusammengehalten werden.

Schüler 5: (12,42-12,43 min.)

Dies könnte ja ein Ringsystem sein.

Schüler 3: (12,44-12,47 min.)

Es könnte ja ein Ringsystem sein, theoretisch.

Schüler 1: (12,51-12,58 min.)

Es muss in der Struktur irgendwas erkennbar sein, was darauf hinweist, dass Osmose stattfinden kann.

Schüler 5: (13,00-13,13 min.)

Ich denke auch, dass teilweise diese Coulombschen Kräfte irgend wie da sind, dass auch einfach ein Freiraum im Molekül entsteht hinsichtlich. Aber wie der nun entsteht, nicht unbedingt durch Zwischenverbindungen sein,.. durch Querverbindungen.

Frau A. Köhler: (13,21-13,27 min.)

Welche Funktionen hatten diese Querkräfte?

Schülerin 7: (13,33-13,42 min.)

Ich denke mal, das Molekül zusammenzuhalten, dass sie nicht auseinandergehen die Kette, weil es sind ja in Ionen eingelagert und das würde sich jeweils abstoßen.

Schüler 4: (13,45-14,01 min.)

Und auch das Wasser, dann soll absorbieren und wieder zusammenziehen dazu müssen diese Verbindungen da

sein. Ich denke das ist schon essentiell, da denn diese ganzen Ringsysteme wäre, denk ich, dann zieht es sich nicht mehr zusammen, wenn keine Zwischenverbindungen dazwischen sind.

Schüler 3: (14,02-14,15 min.)

Denk vor allem die Querverbindungen sind da, um des ganze zu stabilisieren und dafür zu sorgen, dass sie sich eben- wenn Wasser da ist- nicht ganz zusammenzieht, muss ein Zwischenraum gewisser weise erhalten bleiben, sonst würden sich ja die beiden polaren Seiten mehr oder weniger anziehen.

Schüler 5: (14,22-14,41 min.)

Na gut ,aber das soll aber trotzdem einerseits querverbunden werden, andererseits muss ja der Zwischenraum gehalten werden. Vor allem, wenn sich Wasser einlagern sollte. Weil darauf, denke ich, ist ein großer Grund für, dass soviel Wasser aufgenommen werden kann. Das ein Zwischenraum existiert...

Schüler 3: (15,41-16,01 min.)

Das muss halt jedes mal eine polare Gruppe vorhanden sein. Sozusagen an den Molekülketten das muss mit Sicherheit eine Carboxylgruppe dann, gibt es noch eine Menge anderer polarer Ketten, die sicherlich an deren Stelle treten können, aber eine sollte vorhanden sein und darum an diesen funktionelle Gruppe sozusagen die polare Gruppe können sich die einzelnen SAPs unterscheiden.

Schüler 5: (17,03-17,34 min.)

Also ich würde erst mal das gleiche sagen und dann ist eben die Frage, wie es des jetzt mit den Coulombschen Kräften sind, ob die durch eine Ionenbindung unbedingt existieren müssen. Aber man müsste, denk ich einen Vergleichsstoff haben, der möglichst anders ist, also möglichst zwar die gleichen Elemente hat, aber anders aufgebaut ist trotzdem, wegen den Feinheiten. Also, genau beurteilen kann ich es nicht, was nun genau dazu führt und in wie weit man gehen muss, ob nun nur eine polare Gruppe ausreichen oder ob jetzt unbedingt Ionenbindung und Coulombkräfte vorhanden sein müssen.

Schüler 5: (18,02-18,19 min.)

Ich denke einfach, um noch mal zu sagen ist, dass wichtig ist, dass möglichst die funktionelle Gruppen von allen Seiten her, in Klammern, angreifen, weil sonst kann das Wasser nicht so eingelagert werden. Soll sich eine einheitliche Struktur auch im Wasser herausbilden können.

Frau A. Köhler: (18,25-18,47 min.)

Also, sie sprechen noch mal den Prozess der Wassereinlagerung an. In so einer Klausur muss man ja immer etwas sehe präzise niederschreiben und wenn sie

den Prozess der Wassereinlagerung beschreiben wollen, also wir machen jetzt hier konkrete Klausurvorbereitung, was würden sie dann schreiben?

Schüler 2: (18,51-19,20 min.)

Dass es, glaube ich, der Osmotische Druck ist und dass dadurch Wasser ins Innere gelangt und dadurch Coulombkräfte eben von den Na Plus gehalten wird, dass durch die WBB, das Wasser selber stabil ist.

Schülerin 2: (19,38-20,05 min.)

Der Osmotische Druck kommt ja durch den Konzentrationsgradienten überhaupt erst zustande. Und es ist Na plus oder was da konzentriert ist. Also würde ich sagen, müssen es auch schon Ionen sein, wenn ich einen polaren Gruppe habe, ist der Konzentrationsgradient hoch genug, weil Wasser ist ja auch leicht und so und wenn ich denke, dass es dadurch diffundieren soll, müssen es Ionen sein.

Frau A. Köhler: (18,25-18,47 min.)

Also, sie sprechen noch mal den Prozess der Wassereinlagerung an. In so einer Klausur muss man ja immer etwas sehr präzise niederschreiben und wenn sie den Prozess der Wassereinlagerung beschreiben wollen, also wir machen jetzt hier konkrete Klausurvorbereitung, was würden sie dann schreiben?

Schüler 2: (18,51-19,20 min.)

Dass es, glaube ich, der Osmotische Druck ist und dass dadurch Wasser ins Innere gelangt und dadurch Coulombkräfte eben von den Na Plus gehalten wird, dass durch die WBB, das Wasser selber stabil ist.

Schülerin 2: (19,38-20,05 min.)

Der Osmotische Druck kommt ja durch den Konzentrationsgradienten überhaupt erst zustande. Und es ist Na plus oder was da konzentriert ist. Also würde ich sagen, müssen es auch schon Ionen sein, wenn ich einen polaren Gruppe habe, ist der Konzentrationsgradient hoch genug, weil Wasser ist ja auch leicht und so und wenn ich denke, dass es dadurch diffundieren soll, müssen es Ionen sein.

Frau A. Köhler: (20,12-20,13 min.)

Wie beantworten sie die Frage ihrer....

Schüler 1: (20,20-20,37 min.)

Also, dass schon Ionen das Element sein sollten, was dafür verantwortlich ist, tatsächlich. Um überhaupt das da etwas diffundieren kann. Also ein Salz müsste es schon sein.

Schüler 5: (20,40-20,42 min.)

Ist die Frage, wahrscheinlich müsste man ausprobieren.

Schüler 2: (20,47-20,54 min.)

Also ist höchstwahrscheinlich einfach nur die Kapazität, also die Menge an Wasser, die gespeichert werden kann.

Schüler 2: (21,11-21,16 min.)

Es ist halt die Frage, ob andere Ionen besser funktionieren würden.

Frau A. Köhler: (21,19-21,26 min.)

Sie sprachen vom Osmotischen Druck. Das war ja auch ein bisschen so die Frage. Wie baut sich der osmotische Druck auf?

Ich meine keine superabsorbierenden Polymere, sondern ganz allgemeine, wie bei anderen organischen und biologischen Zellen oder Wurzeln.

Schüler 3: (21,35-22,22 min.)

Das ganze baut sich durch ein Prinzip, durch ein Konzentrationsunterschied auf, das wäre hier ein Beispiel. Zum Beispiel das wir innen relativ viele Natrium Kationen und außen wenig und sozusagen ist das Verhältnis von Wasser zu Natriumionen außen ein anderes, als innen und deshalb stürmt das Wasser hinein, um sozusagen auszugleichen. Das wäre sozusagen die gleiche Konzentration von Wasser und Natriumionen haben, wie außerhalb.

Schüler 2: (22,25-22,32 min.)

Aber wenn wir es destillieren würden, müsste es ja eigentlich ohne Ende Wasser aufnehmen.

Schüler 3: (22,32-22,33 min.)

Irgendwann ist ja auch Schluss

Schülerin 3: (22,33-22,43 min.)

Wenn das Konzentrationsgefälle ausgeglichen ist, hört es auf Wasser aufzunehmen.

Schüler 2: (22,44-22,46 min.)

Ja, aber wenn man destilliertes Wasser...

Schülerin 3: (22,49-22,54 min.)

Irgendwann bestimmt. Entweder ist das Wasser alle oder es sind keine freien Kohlenstoffatome mehr da.

12.4 Materialien zur Vertiefung

Ausgewählte Internetseiten aus dem Projekt „Kunststoffe im Alltag“

Kunststoffe in der Kleidung - Netscape

Die URL View Go Kommunikation Help

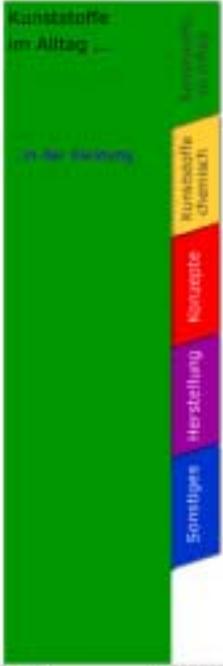
Back Reload Home Search Netscape Print Security Stop

Location: file:///C:/WWW/DU/S/Website/Kunststoffe%20im%20Alltag/klodung.htm

Instant Message Mail RSS People Yellow Pages Download Calendar Check

Kunststoffe in der Kleidung

In vielen Kleidungsstücken kommen heutzutage Kunststoffe vor, oft in Mischgeweben mit natürlichen Fasern wie Wolle oder Baumwolle, wobei verschiedene Kunstfasern verwendet werden, abhängig von den Eigenschaften, die die Kleidungsstücke haben sollen.



T-Shirts bestehen meistens aus Baumwolle, aber besonders in enganliegenden T-Shirts werden oft Kunstfasern aus **Elastan**, z.B. Lycra verarbeitet, damit sie gut dehnbar sind und besser in Form bleiben.

Pullover bestehen meistens zumindest zum Teil aus Wolle, oft gemischt mit **Polyacrylnitril** oder **Polyamid** (Nylon), oder auch **Polyester**. Es gibt auch Pulis, die ganz aus diesen Kunstfasern bestehen (einzeln oder gemischt), außerdem findet man in manchen Strickisachen auch **Viskose**.



Viskose, die zu den **Kunstseiden** gehört, ist auch eines der typischsten Materialien für Sommerkleider, weil sie weich und fließend fällt und angenehm zu tragen ist. Als Kunstfasern sind in Kleidern ansonsten oft **Polyester** oder - insbesondere bei dehnbaren Stoffen - **Polyamid** und **Elastan** enthalten.



Document View

Die Sympatex® Membran - Netscape

Die URL View Go Kommunikation Help

Back Reload Home Search Netscape Print Security Stop

Location: file:///C:/WWW/DU/S/Website/Kunststoffe%20im%20Alltag/sympatex.htm

Instant Message Mail RSS People Yellow Pages Download Calendar Check

Die Sympatex® Membran

Sympatex® ist eine Membran, die in viele wetterfeste Kleidungsstücke eingearbeitet wird. Das besondere Merkmal dieser Polymer-Folien ist ihre Atmungsaktivität, d.h. gasförmiges Wasser kann die Folie passieren, obwohl diese wasserdicht ist.

Wie kommt diese seltsame Eigenschaft zu Stande? Die Dichte gegenüber Flüssigkeiten resultiert aus der geschlossenen, porenlosen Struktur der Membran, doch wie können die einzelnen Moleküle des gasförmigen Wassers dennoch passieren? Die Lösung liegt in dem molekularen Aufbau des Stoffes: Sympatex® besteht eigentlich aus einem **Polyester**. Dieser gibt dem Polymer die nötige Festigkeit. Doch Teile der Polymerketten bestehen aus einem **Polyether**.

$$\begin{array}{c} \text{---} \text{C} \begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \end{array} \text{---} \text{R} \text{---} \text{C} \text{---} \\ | \quad \quad \quad | \\ \text{---} \quad \quad \quad \text{---} \end{array}$$

Polyester

$$\begin{array}{c} \text{---} \text{O} \text{---} \text{R} \text{---} \text{O} \text{---} \\ | \quad \quad \quad | \\ \text{---} \quad \quad \quad \text{---} \end{array}$$

Polyether

R: Kohlenwasserstoffreste

Weitere Kunststoffe zum Kennenlernen:

- Kunststoffe
- Wolle
- Celluloseacetat
- Polyacryl
- Polyamid/Nylon
- Aramid
- Kevlar
- Polyester
- Sympatex
- Polyethylen
- Elastan

Navigation: Kunststoffe Chemisch, Kunststoffe, Herstellung, Sonstiges

Document View

Copolymerisation - Netscape

Die | SM | Über | G | Downloads | Help

Back Forward Home Search Netscape Print Security Drop

Location file:///C:/inetpub/wwwroot/kunststoffe/viskose/viskose.htm

Instant Message WebMail Radio People Yahoo! Pages Download Calendar Channels

Weitere Konzepte:

- Thermoplaste
- Duroplaste
- Reaktionsharze
- Copolymerisation
- Quervernetzung
- Kunststoffe
- Faserstoffe
- Chemiefasern
- Gelelektrolyten
- Polymere

Eigenschaften von Kunststoffen

Copolymerisation

Die Copolymerisation bietet die Möglichkeit, die Eigenschaften von Kunststoffen zu beeinflussen, indem man verschiedene Kunststoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften in einem einzigen Kunststoff vereint. Copolymere bestehen also nicht nur aus einer Art von Kunststoff wie z.B. Polyacryl, sondern aus zwei oder sogar mehreren, z.B. Polyacryl und PVC.

Zur Synthese werden dementsprechend zwei oder mehr Monomer-Typen verwendet. Bei Polymerisationsreaktionen also verschiedene Ethen-Derivate wie z.B. Acrylnitril und PVC bei der Herstellung von Modacrylfasern; bei Polyadditionen, die ohnehin schon zwei Monomere erfordern, wie z.B. eine Dicarbonsäure und einen Dialkohol bei den Polestern, sind bei einer Copolymerisation entsprechend zwei oder mehr verschiedene Alkohole oder Carbonsäuren beteiligt.

Für die Verknüpfung dieser unterschiedlichen Monomere zu einem Copolymer gibt es verschiedene Möglichkeiten, die sich durch die Reaktionsbedingungen steuern lassen. Die einfachste Möglichkeit eines Copolymers, ein **"statistisches Copolymer"** erhält man, wenn man sämtliche Monomere zusammenschüttet und miteinander reagieren lässt. Die verschiedenen Monomere **A** und **B** wechseln dann statistisch ab und bilden einen Kunststoff nach folgendem Schema

$$-A-A-B-A-A-A-B-A-B-A-B-B-A-B-$$

Statistisches Copolymer

Viskoseverfahren - Netscape

Die | SM | Über | G | Downloads | Help

Back Forward Home Search Netscape Print Security Drop

Location file:///C:/inetpub/wwwroot/kunststoffe/viskose/viskose.htm

Instant Message WebMail Radio People Yahoo! Pages Download Calendar Channels

Herstellung von Kunststoffen

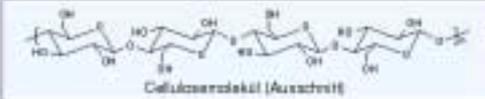
- Polymerisation
- radikalisch
- ionisch
- sonstige
- Polykondensation
- Polyaddition
- Herstellung
- Sonstiges

Herstellung von Kunststoffen

Viskoseverfahren

Hätten Sie gedacht, dass aus Bäumen schöne Kleidungsstücke entstehen können? Das ist tatsächlich wahr, denn die Cellulose, eine der Gerüstsubstanzen, die die Zellen in Pflanzen und Bäumen so stabil machen, lässt sich weiterverarbeiten zu Viskose, und aus Viskosefasern lässt sich Kleidung herstellen. Und wie das chemisch vor sich geht, soll hier erläutert werden.

Cellulose ist ein Kohlenhydrat, sie besteht aus 500 - 5000 Glucose-Molekülen, die miteinander zu einer langen Kette verknüpft sind (für Fachleute: Es handelt sich um eine β -D-(1,4)-glucosidische Verknüpfung).



Cellulosemolekül (Ausschnitt)

Cellulose wird von Pflanzen bei der Photosynthese hergestellt, sie ist einer der bedeutendsten nachwachsenden Rohstoffe und wird - unter anderem - zur Herstellung von Viskosefasern verwendet.

Dies geschieht in mehreren Schritten:
Zunächst muss aus dem Baum (oder auch aus Stroh oder Schilf) die -mehr oder weniger reine-