

Neue Herausforderungen an die professionellen Kompetenzen von Chemie-Lehrkräften durch die Implementation von Seminarfächern



Dissertation
zur Erlangung des naturwissenschaftlichen Doktorgrades der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von
Katja Weirauch
aus Würzburg

Würzburg, März 2017

Eingereicht bei der Fakultät für Chemie und Pharmazie am

Gutachter der schriftlichen Arbeit

- | | |
|---------------|---------------------|
| 1. Gutachter: | Prof. Dr. E. Geidel |
| 2. Gutachter: | Prof. Dr. A. Kometz |

Prüfer des öffentlichen Promotionskolloquiums

- | | |
|----------------|---------------------|
| 1. Prüfer: | Prof. Dr. E. Geidel |
| 2. Prüfer: | Prof. Dr. A. Kometz |
| 3. Prüfer: | |
| Schriftführer: | |

Datum des öffentlichen Promotionskolloquiums

Doktorurkunde ausgehändigt am

Die vorliegende Arbeit wurde im Zeitraum August 2010 bis März 2017 in der Didaktik der Chemie der Universität Würzburg unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. Ekkehard Geidel durchgeführt.

Zusammenfassung

Neuerungen in Bildungssystemen können nur erfolgreich sein, wenn sie planmäßig implementiert werden. Maßgeblich ist hierfür, dass die Lehrkräfte über die entsprechenden professionellen Kompetenzen verfügen. Die vorliegende Arbeit untersucht diesen Zusammenhang am Beispiel der Implementation von Seminarfächern im bayerischem Gymnasium. Es wird identifiziert, welche neuen Herausforderungen Chemie-Lehrkräfte mit Einführung der Wissenschaftspropädeutischen (W-) und Projekt-Seminare (P-) bewältigen müssen. Aus Interviews mit Lehrkräften wurden per qualitativer Inhaltsanalyse nach Mayring die Anforderungen an das Professionswissen der Lehrkräfte identifiziert. Für die W-Seminare konnte dargestellt werden, dass eine erfolgreiche Wissenschaftspropädeutik häufig an fehlendem Fachwissen der Lehrkräfte zu *Nature of Science Inquiry* (NOSI) scheiterte. Analog fehlte den Lehrkräften in den P-Seminaren Fachwissen zu Projektmanagement, sodass sie dies weder umsetzten, noch erfolgreich vermitteln konnten. Um die Lehrkräfte bei der Bewältigung der Herausforderungen zu unterstützen, wurden vielfältige Möglichkeiten der Kooperation von Seminarfächern mit der Universität als externem Partner erprobt. Methodenwerkzeuge für eine systematische Wissenschaftspropädeutik wurden entwickelt und im Rahmen von Lehrerfortbildungen weitergegeben. Weiterhin wurde ein Lehr-Lern-Labor „Analyseverfahren der Chemie“ für W-Seminare konzipiert und wiederholt erfolgreich durchgeführt. Damit wurden Erkenntnisse der empirischen Studie in nachweislich praxistaugliche Konzepte umgesetzt, die die erfolgreiche Implementation der Seminarfächer unterstützen können.

Abstract

The implementation of pedagogical innovations in school systems can only be successful if teachers are qualified for it – i.e. possess adequate pedagogical competencies to realize the new concept. Given this perspective, this thesis examines the implementation of Science and Project Seminar Courses (W- and P-Seminar) in the Bavarian High School. The aim was to identify which new challenges to their professional competencies teachers had to overcome when realizing the new teaching format. For that, interviews with teachers were analyzed according to Mayrings content analysis. It was shown that Chemistry teachers generally could fulfill most of the requirements imposed on them. However, they lacked content knowledge of the Nature of Science Inquiry (NOSI) and about project management. Consequently, they were unsuccessful in teaching these contents so that major aims of the Seminar Courses were not fulfilled. These findings were directly transferred into concepts that reliably may improve the implementation of W- and P-Seminars. Several new teaching tools were developed and repeatedly communicated in advanced training courses. Furthermore, lab courses for students about chemical analytical methods were designed and extensively tested. Additionally, many other possibilities for how Universities may cooperate with Science- and Project-Seminar-Courses are described in this thesis.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abstract	3
1. Einleitung und Zielsetzung	8
2. Forschungskontext	12
Implementation von Innovationen	12
Professionelle Kompetenz von Chemie-Lehrkräften	12
2.1. Überzeugungen und Werthaltungen (<i>beliefs</i>)	15
2.2. Motivationale Orientierung	16
2.3. Selbstregulation	18
2.4. Professionswissen	18
2.4.1. Repräsentationsformen.....	19
2.4.2. Fachwissen (CK).....	24
2.4.3. Pädagogisch-Psychologisches Wissen (PK).....	30
2.4.4. Fachdidaktisches Wissen (PCK)	31
2.4.5. Organisationswissen (OW)	38
2.4.6. Beratungswissen (BW)	42
3. Die Seminare in der bayerischen Oberstufe – Forschungsstand, Rahmenvorgaben und Inhalte	45
3.1. Forschungsstand zum Thema Seminarfächer	46
3.2. Die Seminarfächer in Bayern.....	47
Rahmenvorgaben und erste Daten seit dem Jahr 2007	47
Perzeption der Lehrkräfte.....	50
Wahlverhalten der Schüler	51
Perzeption der Eltern.....	52
3.3. Das W-Seminar	55
Wissenschaftspropädeutik.....	56
Die “Natur der Naturwissenschaften“	59
Bedeutung der wissenschaftlichen Befunde für das W-Seminar.....	63
Facharbeiten versus Seminararbeiten.....	64
3.4. Das P-Seminar.....	66
Berufs- und Studienorientierung	67
Projektarbeit und Projektmanagement.....	69

Portfolio und Zertifikat.....	71
3.5. Externe Partner für W- und P-Seminar.....	72
Außerschulische Lernorte und Schülerlabore.....	74
Kooperationen zwischen Universität und Schule	77
4. Qualitative Exploration	78
4.1. Ziel der Untersuchung	78
4.2. Theoretische Verortung der Methodik	78
4.3. Qualitativer Ansatz.....	79
4.3.1. Spezifizierung der Interviews.....	80
4.3.2. Entwicklung und Anpassung des Interviewleitfadens	82
4.3.3. Beteiligte Personen.....	88
4.3.4. Eckdaten der Studie	91
4.3.5. Interviewleitfaden 1.....	93
4.3.6. Interviewleitfaden 2	94
4.4. Erhebung und Auswertung der Daten.....	97
4.4.1. Vorverständnis der Kategorisierung.....	98
4.4.2. Rückprüfung des Kategoriensystems	104
4.5. Verwendetes Kategoriensystem.....	109
4.5.1. Sub-Kategorien zur Detektion von <i>Themenfeldern</i>	113
4.5.2. Sub-Kategorien zum <i>Anforderungsniveau</i>	117
4.5.3. Sub-Kategorien zur <i>Fachspezifität</i>	119
4.6. Qualitätskriterien für qualitative Forschung.....	125
4.6.1. Objektivität, Validität und Reliabilität.....	125
4.6.2. Qualitätskriterien für die Qualitative Inhaltsanalyse.....	127
5. Ergebnisse der qualitativen Studie	131
5.1. Herausforderungen an Pädagogisch-Psychologisches und Didaktisches Wissen.....	135
5.1.1. PK und PCK im P-Seminar.....	137
5.1.2. PK und PCK im W-Seminar	142
5.2. Neue Herausforderungen an das Fachwissen der Chemie-Lehrkräfte.....	150
5.2.1. CK im P-Seminar.....	152
5.2.2. CK im W-Seminar	158
5.3. Inhalte eines Seminarfach-Wissens	161
5.4. Implementation der W- und P-Seminare in Bayern	166

6. Angebote der Universität für W- und P-Seminare	168
Seminarfächer und Studiengangwahl im Fach Chemie	168
6.1. Kooperationsformen	170
Bibliothek.....	170
Zugang zu Chemikalien und Geräten	171
Labortage	172
Externe Berater	174
Konzeptueller Input.....	175
Externe Auftraggeber.....	176
Projekt-Partner	177
P-Seminartage.....	177
W-Seminartage	179
Lehr-Lern-Labore	179
P-Seminar-Coachings	180
6.2. Fort- und Weiterbildungen.....	181
7. Die Lehrerfortbildung „Forschen Lernen mit Egg-Races“	182
7.1. Durchführung der Lehrerfortbildung.....	182
Ablauf und Konzept der Fortbildung	182
Rückmeldungen der Lehrkräfte	184
7.2. Ein wissenschaftspropädeutisches Methodenwerkzeug: Das Modul „Forschen Lernen mit Egg-Races“	185
Die Methode des „Egg-Racing“.....	185
Das Egg-Race „Wärmepflaster“ und seine experimentelle Untersuchung.....	186
Ablauf des Moduls „Forschen lernen“	190
Erfahrungen mit der Durchführung des Moduls	193
7.3. Weitere Methodenwerkzeuge für W-Seminare und ein alternativer Ablaufplan	194
Die Hinführung zur Forschungsfrage mit DIMs.....	195
Organisation der Laborarbeit	196
Präsentations-Werkzeuge.....	198
Zwischen-Präsentationen	199
7.4. Ein neuer Ablaufplan für W-Seminare im Fach Chemie.....	200
8. Das LLL „Analyseverfahren der Chemie“	201
8.1. Analytik im Gymnasium	201
8.2. Durchführung des LLL.....	203

8.3. Klassisch chemische Analysemethoden	204
Welches Salz ist welches?	204
Wie viel Säure ist im Orangensaft?	207
8.4. Chromatographische Methoden	211
Was macht die M&M's bunt?.....	212
Wieviele Bestandteile hat der Curry mindestens?	215
Wie kann man Formel-1-Treibstoff schnell analysieren?	221
8.5. Spektroskopische Methoden.....	225
Hat der Weinbauer korrekt gespritzt?.....	227
Wieso ist der Farbstoff bunt?	229
Welcher weiße Stoff ist welcher?	236
Warum sind Protonen für Ärzte interessant?	241
8.6. Massenspektrometrie.....	247
Wie weist man schnell und sicher Drogen nach?.....	251
8.7. Evaluation des Lehr-Lern-Labors.....	254
8.8. Ergebnisse der Erprobung universitärer Angebote	255
9. Schlussfolgerungen und Ausblick	256
Abbildungsverzeichnis	272
Tabellenverzeichnis.....	274
Anhang.....	276
Danksagung	

Anmerkungen zu Formalia

Im folgenden Text sind bei Verwendung der männlichen Form grundsätzlich immer beide Geschlechter gemeint, es sei denn, es wird ausdrücklich darauf hingewiesen.

Anführungszeichen werden im Text ausschließlich für Zitate verwendet. Um Missverständnisse diesbezüglich zu vermeiden, wird anstelle der Relativierung einer Aussage durch „Anführungszeichen“ eine *kursive* Schreibweise gewählt.

Auf ein Abkürzungsverzeichnis wurde in dieser Arbeit verzichtet, um Zweideutigkeiten zwischen in Bildungswissenschaften und Naturwissenschaften üblichen Kürzeln zu vermeiden. Verwendete Abkürzungen werden daher stets an den jeweiligen Stellen im direkten Textbezug erläutert.

1. Einleitung und Zielsetzung

„Eines der obersten Ziele schulischer Bildung überhaupt ist es, junge Menschen zu befähigen, sich in der modernen Gesellschaft zu orientieren und politische, gesellschaftliche und wirtschaftliche Fragen und Probleme kompetent zu beurteilen“ heißt es auf den Internet-Seiten der KMK¹ (KMK, 2016). Da diese *moderne Gesellschaft* in stetem Wandel ist, müssen sich auch die Schulsysteme wandeln, um eine solche Orientierungs- und Urteilsfähigkeit bei den Schülern zu erreichen. Wandel in Schulsystemen bedeutet in der Regel, dass Schulentwicklungsprozesse in Gang gesetzt werden. Dies geht mit der Einführung neuer Strukturen oder Unterrichtskonzepte durch das Kultusministerium einher. Eine solche wird in der Bildungsforschung als *Implementation von Innovationen* bezeichnet. Maßgeblich für den Erfolg solcher Implementations-Vorhaben sind die Lehrkräfte, die diese Innovationen umsetzen sollen. Entscheidend sind einerseits die Einstellungen und Überzeugungen der Lehrkräfte gegenüber der Innovation, andererseits die Kompetenzen und Qualifikationen der Lehrkräfte (Gräsel & Parchmann, 2004, S. 203). „Der Frage, welche Kompetenzen von Lehrpersonen die Umsetzung von Innovationen im Einzelnen begünstigen, hat sich die Implementationsforschung allerdings bislang (noch) nicht explizit zugewendet“ schreibt Goldenbaum (2012, S. 105-106). Diese Perspektive soll in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen und ihr am Beispiel der neu implementierten Seminarfächer in Bayern nachgegangen werden. Konkret wird beschrieben, welche Aspekte der professionellen Kompetenz der Lehrkräfte durch die Einführung des neuen Unterrichtsformats besonders gefordert werden und in welchen Bereichen die Lehrkräfte ihre professionelle Kompetenz gegebenenfalls erweitern müssen.

Profession von Lehrkräften

Spätestens seit Shulmans Vortrag beim Jahrestreffen der American Educational Research Association im Jahr 1985 ist auf wissenschaftlicher Ebene ein Konsens darüber erwachsen, dass Lehrer über Profession verfügen und welche Wissensbestandteile grundsätzlich zu einer solchen gehören. Aufbauend auf den *Shulman Seven* (Shulman, 1986) sind Modelle des Professionswissens von Lehrkräften entwickelt und darauf basierend vielfältige Studien angestrengt worden, sodass Aussagen darüber möglich werden, was eine Lehrkraft wissen und können sollte und inwiefern dieses Wissen und Können tatsächlich vorhanden ist. Aktuell gibt es Bestrebungen, Modelle des Professionswissens von Lehrkräften für einzelne Schulfächer zu spezifizieren. Die COACTIV²-Studie hat dies für das Fach Mathematik wegweisend getan. Im Rahmen der ProwiN³-Studie soll darauf aufbauend das

¹ KMK = Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland

² COACTIV = „*Cognitive Activation in the Classroom*“: Professionswissen von Lehrkräften, kognitiv aktivierender Mathematikunterricht und die Entwicklung mathematischer Kompetenz; Studie des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung

³ ProwiN = *Professionswissen in den Naturwissenschaften*

professionelle Wissen von Lehrkräften der Fächer Physik, Chemie und Biologie und seine Auswirkungen auf den naturwissenschaftlichen Unterricht erfasst werden (Tepner et al., 2012, S. 29). Damit wird ein wissenschaftlich fundierter Rahmen geschaffen, innerhalb dessen auch spezifischere Fragestellungen zum Beispiel zum Unterricht im Fach Chemie bearbeitet werden können, was in dieser Arbeit versucht werden soll.

Zielorientierung des Gymnasiums

Neben der Betrachtung des Lehrers als professionellem Experten (Expertenparadigma s. z. B. M. Jüttner and B. J. Neuhaus (2013)) hat ein weiterer Perspektivwechsel wichtige neue Impulse nicht zuletzt für den naturwissenschaftlichen Unterricht erbracht: Die Fokussierung auf den *outcome* des Unterrichts anstelle der Betrachtung seines optimalen Verlaufs (s. z. B. Hattie (2013)). Untersuchungen, die diese Perspektive einnehmen wie z. B. die verschiedenen TOSCA⁴-Studien konnten deutliche Defizite bei Abiturienten belegen (Institut für Empirische Bildungsforschung, 2015; Trautwein, Neumann, Nagy, Lüdtke, & Maaz, 2010). Weitere Hinweise dafür, dass das Gymnasium Schülerinnen und Schüler nicht hinreichend mit dem Wissen und Können ausstattet, das sie für ein späteres Studium oder Berufsleben benötigen, erbrachten z. B. Untersuchungen des Hochschul-Informations-Systems HIS (Heublein, Hutzsch, Schreiber, Sommer, & Besuch, 2009; Heublein, Richter, Schmelzer, & Sommer, 2012). Als Reaktion auf die Erkenntnisse der ersten PISA- und TOSCA-Studien wurde in Bayern versucht, die Oberstufe des Gymnasiums stärker auf die Anforderungen von Studium und Berufsleben auszurichten. Hierfür wurden so genannte Seminarfächer eingeführt. Im Gegensatz zu Seminarkursen anderer Bundesländer wurden zwei unterschiedliche Typen von Seminarfächern etabliert, die Wissenschaftspropädeutischen- (W-Seminare) und die Projekt-Seminare (P-Seminare).

Bayerische Seminarfächer

Diese Seminarfächer unterscheiden sich grundlegend von allen anderen Fächern des bayerischen Fächerkanons: Es gibt für sie keine Lehrpläne. Stattdessen hat das Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München (ISB) im Auftrag des Kultusministeriums eine Broschüre erarbeitet, in der die Ziele und Fächer verbindenden Inhalte der Seminare dargestellt werden (ISB, 2007). Für die Lehrkräfte im Allgemeinen und die Chemie-Lehrkräfte im Besonderen ergibt sich damit schon organisatorisch eine neue Unterrichtssituation. Auch thematisch ist durch die Vorgabe, dass die Seminare keine Lehrplaninhalte aus dem Fach behandeln sollen, die Notwendigkeit einer Neuorientierung der Chemie-Lehrkräfte gegeben. Weiterhin sehen die Zielvorgaben für P-Seminare Inhalte vor, die bisher kein Bestandteil des Chemie-Lehrplans waren. Hierzu gehören das Projektmanagement oder die Berufs- und Studienberatung. Damit liegt es nahe, dass auf Chemielehrer mit der Einführung

⁴TOSCA = *Transformation des Sekundarschulsystems und akademische Karrieren; mehrere Studien, Beginn 2002*

der Seminarfächer neue Anforderungen zukommen, mit denen sie für den Unterrichtsalltag umgehen müssen.

Für W-Seminare ebenso wie für P-Seminare ist die Kooperation mit externen Partnern ausdrücklich gefordert – eine weitere organisatorische Herausforderung, die der bisherige Fächerkanon nicht vorsah. Da zum Beispiel im Raum Würzburg nur sehr wenige mittelständische Unternehmen zu finden sind, die im weitesten Sinne mit Chemie zu tun haben, ist zu vermuten, dass hier die Universität erster Ansprechpartner für Seminare im Fach Chemie ist. Es stellt sich die Frage, wie eine solche Kooperation zwischen Chemie-Seminarfach und Universität aussehen und wie sie organisiert werden kann.

Zielsetzung der Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die neuen Herausforderungen, die mit Einführung der Seminarfächer auf Chemie-Lehrkräfte nach eigenen Aussagen zukommen, herauszuarbeiten. Auf dieser Grundlage wird eine Aussage dazu möglich, ob und inwieweit das aktuelle Konzept der Seminarfächer auf der Grundlage der professionellen Kompetenzen der Lehrkräfte realisierbar ist, bzw. inwieweit ihre Kompetenzen dafür erweitert werden müssen. Daraus kann eine Aussage darüber abgeleitet werden, ob und inwiefern die Implementation der Seminarfächer in Bayern erfolgreich war oder nicht. Abschließend werden Konzepte vorgelegt, um Chemie-Lehrkräfte bei den in dieser Untersuchung offensichtlich gewordenen Herausforderungen von Seiten der Universität zu unterstützen.

Um die Herausforderungen an die Lehrkräfte darstellen zu können, muss zunächst ein Modell zum Professionswissen von Chemie-Lehrkräften entworfen und vorgestellt werden (siehe Kap. 2) Es folgt die Beschreibung des konkreten Bezugs der Problemstellung, also eine Zusammenfassung der wichtigsten Rahmenvorgaben, Fakten und Erhebungen zu Seminarfächern (Kap. 3), sodass das von den Lehrkräften zu bewältigende Anforderungsprofil umrissen ist. Zu Beginn der Untersuchungen wurden diese Seminarfächer erstmals im Rahmen des achtjährigen bayerischen Gymnasiums durchgeführt. Zu Seminarkursen im Allgemeinen existieren nur wenige Studien – zum besonderen Format der W- und P-Seminare gibt es bis heute kaum Forschung. Untersuchungen zum Leitfach Chemie fehlen ganz. Somit ist die hier vorgestellte Studie als explorative Erkundung des Themenfeldes zu sehen. Für solche Ersterkundungen eignen sich besonders Methoden der qualitativen Bildungsforschung. Dem entsprechend wurden in der hier vorzustellenden Studie Lehrkräfte über Leitfadeninterviews befragt und die Aussagen mit Hilfe einer qualitativen Inhaltsanalyse vor dem Hintergrund des oben beschriebenen Modells zur Profession von Chemielehrkräften ausgewertet (Kap. 4). Erstmals werden dabei alle Aspekte des Professionswissens von Lehrkräften zur Kategorisierung herangezogen. Dabei sollten insbesondere folgende Fragestellungen beantwortet werden:

Welche neuen didaktischen und organisatorischen Herausforderungen müssen Chemie-Lehrkräfte bei der Durchführung von Seminarfächern nach ihren eigenen Aussagen bewältigen und wie begegnen die Lehrkräfte diesen Herausforderungen?

Wie kann die Universität zur Bewältigung dieser Herausforderungen beitragen?

Als Ergebnis der Studie ließen sich verschiedene Problemfelder bei der Umsetzung der neuen Unterrichtsformate identifizieren (Kap. 5). Als Antwort darauf wurden Konzepte entwickelt und erprobt, um von universitärer Seite die Lehrkräfte bei der Bewältigung der Herausforderungen in speziell diesen Bereichen zu unterstützen (Kap. 6 und 7). Diese hier vorgestellten Konzepte sollen Anregungen für die Optimierung der schulischen Praxis in W- und P-Seminaren im Fach Chemie geben.

2. Forschungskontext

Implementation von Innovationen

Goldenbaum diskutiert den Begriff der *Implementation von Innovationen* im Zusammenhang mit Bildungssystemen ausführlich (2012). Als Innovation wird dort eine „relativ neue, zielgerichtete, intendierte und geplante Maßnahme“ verstanden, mit denen Veränderungen im Schulsystem eingeführt werden sollen (ebd. 2012, S. 81). Zum Zeitpunkt ihrer Einführung existierten in Deutschland zwar Varianten von Seminarkursen in wenigen anderen Bundesländern, W- und P-Seminare aber gab es bis dato nicht. Insofern sich diese als neue Maßnahme anzusehen. Mit ihrer Implementation verfolgte das Kultusministerium konkrete Ziele wie eine bessere Studien- und Berufsorientierung und eine verstärkte Wissenschaftspropädeutik (ausführlich siehe 3.2). Diese Neuerung wurden vom Kultusministerium in einer Top-down-Strategie, also „von oben nach unten“ durchgesetzt (Gräsel & Parchmann, 2004; Sumfleth, 2017). „Von einer gelungenen Implementation kann bei Top-down-Strategien dann gesprochen werden, wenn die Planungen im Unterricht möglichst wie vorgesehen realisiert und nur wenige Veränderungen vorgenommen werden“ (Demuth, Gräsel, Parchmann, & Ralle, 2008, S. 52). Ob dies gelingt, soll diese Arbeit aufzeigen. In Bezug auf die Lehrkräfte wurden in bisherigen Arbeiten die zwei erwähnten wesentlichen Faktoren identifiziert, die für den Erfolg einer Implementation ausschlaggebend sind. Folglich fordern Gräsel & Parchmann: „Mit den Veränderungen sollten Professionalisierungsmaßnahmen einhergehen, die neben den für die Umsetzung erforderlichen Kompetenzen auch Einstellungen, Überzeugungen und subjektive Theorien der Lehrkräfte berücksichtigen“ (2004, S. 204). Um Aussagen über die Implementation der Seminarfächer aus Sicht der Lehrkräfte treffen zu können muss also diskutiert werden, was im Zusammenhang mit Chemie-Unterricht unter *Einstellungen, Überzeugungen und subjektiven Theorien* einerseits und *professionellen Kompetenzen* andererseits zu verstehen ist.

Professionelle Kompetenz von Chemie-Lehrkräften

Was kann ein *guter Chemielehrer* normalerweise? Dies soll auf der Grundlage aktueller Theorien zur Lehrerverberufung und zum Unterricht allgemein aufgezeigt und auf das Fach Chemie angewandt werden. Auf der Grundlage dieser Systematik kann dann untersucht werden, inwieweit die sich Seminarfächer in ihrem unterrichtlichen Ablauf vom *klassischen* Chemieunterricht unterscheiden und somit neue Herausforderungen an die Lehrkraft identifiziert werden. Eines der aktuell umfangreichsten und fundiertesten Modelle zur Lehrerverberufung wurde von Kunter, Baumert, Blum, Klusmann, Krauss und Neubrand im Rahmen der COACTIV-Studie für den Mathematik-Unterricht vorgestellt (Kunter et al., 2011). Die Autoren fassen ihr Modell professioneller Lehrerverberufung graphisch in einem Übersichts-Schema

zusammen (Abbildung 1) und nennen vier grundlegende Aspekte professioneller Kompetenz:

- Überzeugungen / Werthaltungen / Ziele
- Motivationale Orientierungen
- Selbstregulation und
- Professionswissen.

Hier fällt bereits auf, dass die Überzeugungen und Werthaltungen als Teil der professionellen Kompetenzen der Lehrkräfte gesehen werden (und nicht als zwei getrennte Konstrukte, wie in den oben beschriebenen Erkenntnissen der Implementations-Forschung angedeutet). Dieser Ansatz soll hier übernommen werden. Obwohl das Professionsmodell von COACTIV für den Mathematikunterricht konzipiert wurde, ist davon auszugehen, dass die dort getroffenen Annahmen und Feststellungen in weiten Bereichen auch für den Chemieunterricht als Orientierung dienen können, da sich die unterrichtliche Situation und zugrundeliegende Logik ähneln. Es lassen sich aber zentrale Aspekte definieren, bei denen Unterschiede erwartet werden können, denn:

- Chemie ist eine Naturwissenschaft und kennt daher keine *Beweise*.
- Die zentrale Rolle, die *Aufgaben* (und *Beweise*) in der Mathematik einnehmen, gibt es in dieser Form im Chemieunterricht nicht.
- Zentrales Instrument der Naturwissenschaft Chemie zur Erkenntnisgewinnung ist das *Experiment*, zentrale Instrument zum Verständnis der Chemie sind *Modelle*.
- Chemie spielt in der Gesellschaft eine andere Rolle als die Mathematik (z. B. *produzierende chemische Industrie* vs. *Hilfswissenschaft Mathematik*)

Auf der Grundlage dieser Annahmen von Gemeinsamkeiten einerseits, aber auch Unterschieden zwischen Mathematik- und Chemieunterricht andererseits soll im Folgenden das Professionsmodell von COACTIV entlang der vier oben genannten Aspekte auf den Chemieunterricht projiziert werden. Dabei werden entsprechende Vorarbeiten der ProwiN-Studie aufgegriffen, die für die drei naturwissenschaftlichen Fächer Physik, Chemie und Biologie ein Professions-Modell entwickeln und darauf basierend eine Quantifizierung verschiedener Aspekte erreichen will (Borowski et al., 2014; Borowski et al., 2010).

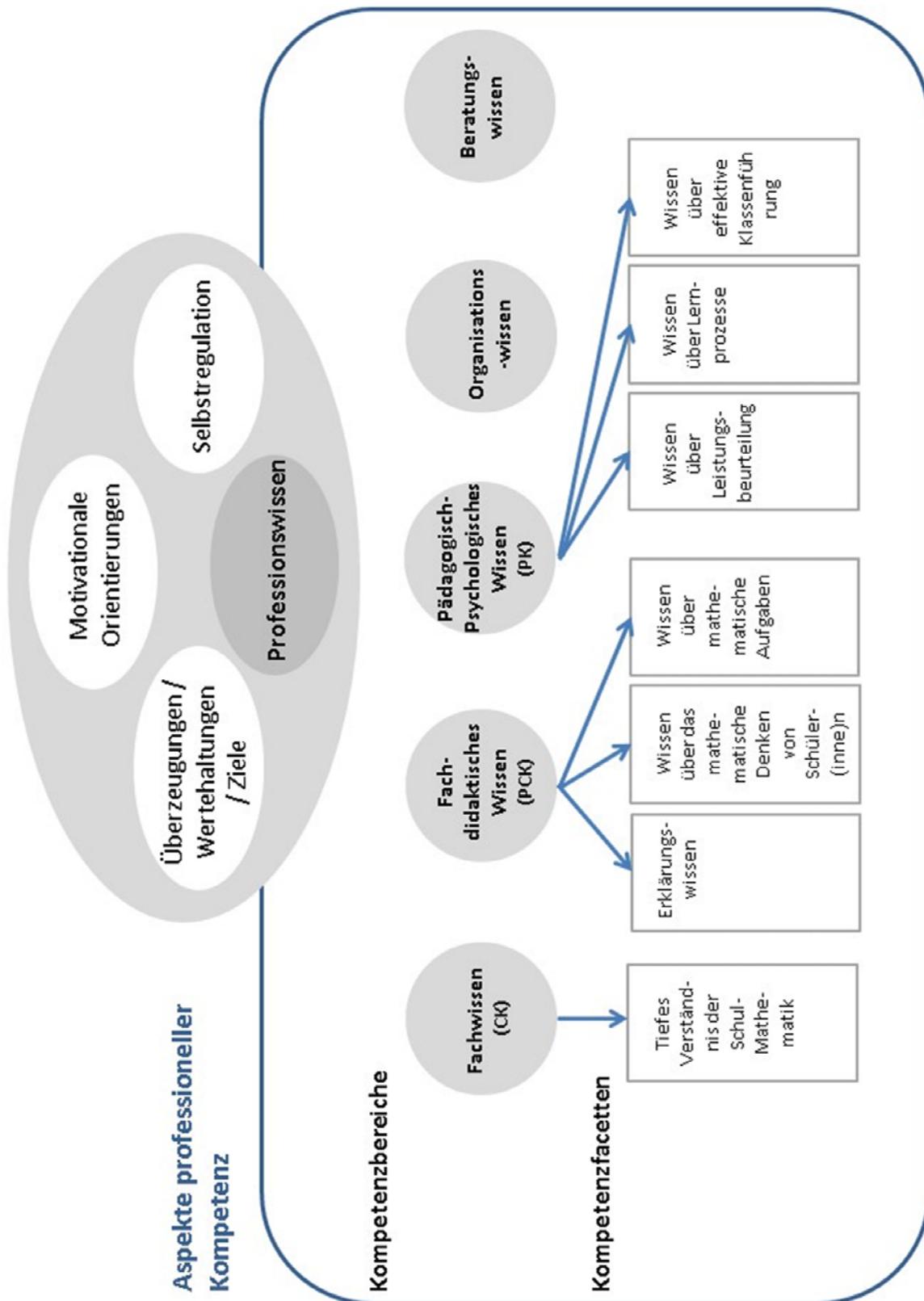


Abbildung 1: Das Kompetenzmodell von COACTIV mit Spezifikationen für das Professionswissen⁶

⁶ (Kunter et al., 2011) S. 32

2.1. Überzeugungen und Werthaltungen (*beliefs*)

Die persönlichen Überzeugungen einer Lehrkraft, die Werte, an denen sie sich orientiert und die individuellen Zielvorstellungen, die sie mit ihrem Lehren verfolgt, werden im Englischen unter dem Begriff *beliefs* zusammengefasst. „Diese beliefs haben im Unterschied zu Wissen weder den Kriterien der Widerspruchsfreiheit noch den Anforderungen der argumentativen Rechtfertigung und der diskursiven Validierung zu genügen. Es genügt der individuelle Richtigkeitsglaube“ (Kunter et al., 2011, S. 41). Im Rahmen dieser Aussage lassen sich nur schwer konkrete sachliche Aspekte identifizieren, in denen ein fachtypischer Unterschied zwischen z. B. Mathematik- und Chemielehrern angenommen werden kann. Warum sollten zum Beispiel Chemielehrer mit größerer Häufigkeit eine liberale Unterrichtshaltung befürworten als Mathematiklehrkräfte? Unumstritten ist, dass die Werthaltung von Lehrkräften Einfluss auf ihren Unterricht haben: „*In den Naturwissenschaften und in Mathematik konnte anhand zahlreicher Studien nachgewiesen werden, dass solche generellen Überzeugungen die Unterrichtspraxis beeinflussen (z. B. die Art der Lehrerklärungen oder die Integration der Schüleräußerungen in den aktuellen Stoff [...])*“ (Haag & Götz, 2012).

Hilfreich für die Frage nach fachlichen Unterschieden kann eine von COACTIV vorgeschlagene Betrachtung verschiedener Aspekte innerhalb des Komplexes von Werthaltungen und Überzeugungen sein. Die Autoren (Kunter et al., 2011) differenzieren zwischen:

- Wertbindungen (value commitments)
- epistemologischen Überzeugungen (epistemological beliefs and world views)
- subjektiven Theorien über Lehren und Lernen sowie
- Zielsystemen.

Während der Einfluss eines bestimmten Fachs auf individuelle Wertbindungen oder persönliche Lehrziele nur schwer zu identifizieren sein dürfte, lässt sich erwarten, dass die **epistemologischen Überzeugungen** eines Mathematikers und die eines Chemikers sich fachbedingt unterscheiden. Auch bei gegenseitigem Verständnis der jeweils anderen Disziplin kann postuliert werden, dass die Vorstellung davon, wie Wissen generiert wird, maßgeblich vom eigenen Fach geprägt sind. Während der Mathematiker Wahrheiten über Beweise findet, sieht der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg die experimentelle Überprüfung von Hypothesen vor und kennt keine letztendliche *Wahrheit*. Nach Neumann lässt sich von einer Domänenspezifität von epistemologischem *Wissen* ausgehen: „Ob man in naturwissenschaftsdidaktischen Kontexten von einem disziplinübergreifenden oder mehreren disziplinspezifischen Konstrukten ausgehen müsste, ist bislang nicht empirisch geklärt“. Erste Untersuchungen deuten darauf hin, dass sowohl epistemologische Überzeugungen zu verschiedenen Domänen untereinander als auch epistemologische Überzeugungen und Fachwissen zueinander in Beziehung stehen und sich gegenseitig beeinflussen (Neumann & Kremer, 2013, S. 218-219). Neumann zitiert hierzu Bromme, der davon

ausgeht, dass epistemologische Überzeugungen maßgeblich von den Wissensdomänen des Einzelnen beeinflusst sind. Dennoch betont Bromme, dass zu einem gewissen Grad auch Domänen-unabhängige epistemologische Überzeugungen existieren (Neumann, 2011, S. 219; Übers. aus d. Engl. Autorin). Im Hinblick auf den epistemologischen Aspekt der Wertehaltungen kann also einerseits von Unterschieden zwischen Mathematik- und Chemielehrkräften ausgegangen werden. Andererseits sind auch fachübergreifende epistemologische Überzeugungen zu erwarten. Wann welcher Fall auftritt, kann im Rahmen dieser Arbeit allerdings nicht geklärt werden.

Folglich ist anzunehmen, dass sich die *beliefs* von Chemie- Biologie- und Physiklehrkräften unterscheiden. Da die meisten Lehrkräfte aber mehr als ein naturwissenschaftliches Fach unterrichten (die hier betrachteten ausschließlich Biologie und Chemie) wird davon ausgegangen, dass die Unterschiede in den Überzeugungen der Lehrkräfte, die durch individuelle Faktoren verursacht werden, größer sind, als die durch die unterrichteten Fächer selbst bedingten. Damit wird nicht zwischen vom Fach abhängigen und fachunabhängigen *beliefs* unterschieden. Die persönlichen Unterschiede zwischen den Lehrkräften spielen bei allen betrachteten Faktoren des Professionswissens gleichermaßen eine Rolle und sind nicht Inhalt dieser Studie.

2.2. Motivationale Orientierung

Die Autoren der COACTIV-Studie ziehen aus ihren Ergebnissen den Schluss, dass motivationale Merkmale von Lehrkräften ein wichtiger Aspekt von professioneller Lehrerkompetenz sind. Sie identifizieren den **Enthusiasmus**, mit der eine Lehrkraft unterrichtet, als wichtigen Prädiktor für die Freude, die die Schüler am Fach entwickeln (Kunter et al., 2011, S. 268). Damit hängt die Effektivität des Unterrichts insgesamt vom Enthusiasmus der Lehrkraft ab. Im Rahmen der COACTIV-Studie wird darüber hinaus zwischen einer gegenstands- und einer tätigkeitsbezogenen Facette des Lehrereнтуhusiasmus unterschieden. Die Begeisterung für ein spezielles Fach kann also eine wichtige Komponente der Motivation eines Lehrers sein, die Begeisterung für das Unterrichten eine andere. Während der Unterrichtsenthusiasmus nach den Erkenntnissen von COACTIV auf die Effektivität des Unterrichts einen deutlichen Einfluss hat, gilt dies für den Fachenthusiasmus einer Lehrkraft nur bedingt. Ein für das Fach Chemie besonders begeisterter Lehrer ist also nicht zwingend ein besserer und erfolgreicherer Chemielehrer.

In jedem Unterrichtsfach gibt es fachspezifische Belastungen: Ein Englischlehrer muss z. B. viel Zeit fürs Korrigieren aufwenden, ein Physiklehrer Versuche aufbauen und ein Kunstlehrer Materialien beschaffen. Es ist aber bislang keine Studie bekannt, die den Enthusiasmus von Lehrkräften fachbezogen vergleicht. Vielmehr ist davon auszugehen, dass es mehr oder weniger begeisterte Lehrkräfte in allen Fächern gibt. Damit ist der Enthusiasmus einer Lehrkraft ein Personenmerkmal und somit über die

gesamte Lehrerschaft hinweg fachunabhängig. Damit können die von der COACTIV-Studie in Bezug auf den Einfluss der Lehrer-Motivation auf den Unterricht getroffenen Feststellungen auf den Chemieunterricht übertragen werden.

Maßgeblich beeinflusst wird die Stärke der Motivation für das Unterrichten durch die **Selbstwirksamkeitserwartung**⁷ der Lehrkraft. Diese habe einen Effekt auf die Unterrichtsführung und besonders auf das Unterstützungsverhalten der Lehrkraft (Kunter et al., 2011, S. 43, 268): *„So setzen Lehrkräfte mit hohen Selbstwirksamkeitsüberzeugungen innovativere und effektivere Methoden ein, weisen höhere Unterrichtsqualität auf und zeigen langfristig geringere Stresssymptome und mehr Bereitschaft, sich auch außerhalb des Unterrichts beruflich zu engagieren“* (ebd., S. 262). Zwar gibt es inzwischen vielfältige Bestrebungen, die die Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrkräften fachbezogen untersuchen (Gebauer, 2013, S. 57), es ist aber keine Studie bekannt, die die Selbstwirksamkeitserwartung von Lehrkräften verschiedener Fächer vergleicht. Berücksichtigt man, dass situationsspezifische Selbstwirksamkeitserwartungen charakterisiert sind durch die „subjektive Gewissheit, eine konkrete Handlung auch dann erfolgreich ausführen zu können, wenn Barrieren auftreten“ (Schwarzer & Jerusalem, 2002, S. 39), so rückt der *Erfolg* des Chemieunterrichts im Vergleich zu anderen Fächern in den Fokus. Während es nahezu unmöglich sein sollte, den generellen Effekt des Unterrichts in den verschiedenen Fächern in Bezug auf die Selbstwirksamkeitserwartungen realistisch zu quantifizieren und damit vergleichbar zu machen, gibt es vielfältige Untersuchungen, die Unterschiede in der *Beliebtheit* der Fächer feststellen (z. B. Schecker, 2009). Diese zeigen im Konsens, dass Chemie zu den unbeliebtesten, wenn auch „geachteten“ Fächern gehört.

Schwarzer und Warner definieren: „Die Lehrer-Selbstwirksamkeit beinhaltet Überzeugungen von Lehrern, Anforderungen ihres Berufslebens auch unter widrigen Bedingungen erfolgreich zu meistern. Folgende Formulierung kann als typisch für die Lehrer-Selbstwirksamkeit angesehen werden: *»Ich weiß, dass ich es schaffen kann, selbst den problematischsten Schülern den Stoff zu vermitteln«*“ (2011, S. 496-497). Nimmt man diese Aussage als Maßstab, so kann man vermuten, dass angesichts der geringeren Beliebtheit des Faches Chemie bei hohem durch die Schüler angenommenen Schwierigkeitsgrad die Selbstwirksamkeitserwartung der Chemie-Lehrkraft fachbedingt eine andere ist, als die der Mathematik-Kollegen. Schlägt man den Bogen von der Perzeption des Faches durch die Schüler zur Selbstwirksamkeitserwartung der Lehrkraft, so könnte man also vorsichtig formulieren, dass Chemie-Lehrkräfte von einem geringeren positiven Effekt ihres Unterrichts ausgehen müssen als Mathematik-Lehrkräfte. Welche Folge dies für ihre motivationale Einstellung hat (Resignation oder Ansporn?) dürfte wiederum individuell verschieden sein und damit ein Persönlichkeitsmerkmal.

⁷M. Gebauer weist darauf hin, dass Krapp und Ryan (2002) Selbstwirksamkeitsüberzeugungen nicht als Teilbereich eines motivationalen Prozesses sehen, stellt dem aber andere Autoren gegenüber, die dies tun (2013, S. 39).

2.3. Selbstregulation

Ein hohes Maß an Motivation und Enthusiasmus kann also einerseits zu einer höheren Unterrichtsqualität führen, andererseits aber auch zu einer Überbelastung der Lehrkraft, wenn diese mit ihren individuellen Ressourcen nicht maßvoll umgeht. Die berufliche Selbstregulation ist – als Gegengewicht zum Enthusiasmus – ein wichtiges Maß für die Professionalität einer Lehrkraft. Eine hohe Wertigkeit des Berufs geht nur dann mit Wohlbefinden einher, wenn sie mit der Fähigkeit gekoppelt ist, sich von beruflichen Belastungen zu distanzieren (Kunter, 2011, S. 535). Dies gilt unabhängig davon, in welchem Fach die Lehrkraft unterrichtet. Die berufliche Selbstregulation ist also „nicht fachspezifisch und in seiner Ausrichtung mehr auf die Lehrperson selbst als auf ihre direkte berufliche Tätigkeit fokussiert“ (Klusmann in Kunter et al., 2011, S. 277), womit die diesbezüglichen Erkenntnisse der COACTIV-Studie auch für Chemielehrer gelten sollten.

2.4. Professionswissen

Das professionelle, domänenspezifische Wissen von Lehrern gilt als zentraler Aspekt ihrer Expertise. Umfangreiche Studien dienten in den letzten zwei Jahrzehnten dem Ziel, dieses Professionswissen taxonomisch zu gliedern und die Bedeutung der Teilaspekte quantitativ zu erforschen (z. B. Ball, Thames, & Phelps, 2008; Borowski et al., 2011; Borowski et al., 2010; Driel, Verloop, & Vos, 1998; M. Jüttner & B. J. Neuhaus, 2013; Neuweg, 2011; Tepner et al., 2012; Veal & MacKinster, 1999). Aus den von Shulman (1986) vorgeschlagenen Facetten von Lehrer-Wissen haben sich international inzwischen drei Aspekte im Konsens vieler Autoren etabliert. Professionelles Lehrerwissen besteht demnach aus den folgenden **Teilbereichen**:

- Dem Fachwissen (subject matter content knowledge; **CK**),
- dem allgemeinen Pädagogisch-Psychologischen Wissen (general pedagogical knowledge; PPK oder **PK**) und
- dem Fachdidaktischen Wissen (pedagogical content knowledge; **PCK**)

Die Autoren der COACTIV-Studie formulieren dem entsprechend: „Diese drei Kategorien bilden aus heutiger Sicht die allgemein akzeptierten Kernkategorien des Professionswissens von Lehrkräften und es besteht kein Zweifel, dass allen dreien eine zentrale Bedeutung bei der Bewältigung der professionellen Aufgaben der Lehrerinnen und Lehrer zukommt“ (Kunter et al., 2011, S. 136).

Dennoch fügen die Autoren dem Professionswissen zwei weitere Teilbereiche hinzu:

- das Organisationswissen (**OW**)
- das Beratungswissen (**BW**)

2.4.1. Repräsentationsformen

Neben den inhaltlichen Facetten professionellen Lehrerwissens können verschiedene *Repräsentationsformen* identifiziert werden, in denen Professionswissen auftreten kann. In der COACTIV-Studie wird zu professionellem Wissen unter anderem festgestellt, dass es „domänenspezifisch und ausbildungs- bzw. trainingsabhängig“ sei (Kunter et al., 2011, S. 34). Das bedeutet, dass es ein spezifisches *Chemie-Lehrer-Wissen* geben muss. Wie sieht dieses aus? Es ist zu vermuten, dass sich das professionelle Wissen eines Chemielehrers einerseits aus der *Ausbildung*, also dem Studium und dem Referendariat ergibt. Andererseits spielt das *Training*, also die Unterrichtserfahrung sowie Fort- und Weiterbildungen eine wichtige Rolle. Weiterhin postulieren die Autoren (Kunter et al., 2011), dass Professionelles Wissen gut vernetzt und hierarchisch organisiert ist. Das zentrale Fach- und Handlungswissen arrangiert sich um *Schlüsselkonzepte* und eine (begrenzte) Anzahl von *Ereignisschemata* („scripts“) (ebd.). Wie sehen fachwissenschaftliche Schlüsselkonzepte der Chemie einerseits und fachdidaktische Schlüsselkonzepte eines Chemielehrers andererseits aus? Welche Scripts gehören zum professionellen Wissen einer Chemie-Lehrkraft?

In Bezug auf die **fachwissenschaftlichen Schlüsselkonzepte** ist man versucht, auf die Strukturen der universitären Chemie und damit die historisch gewachsene Einteilung zwischen Organischer, Anorganischer und Physikalischer Chemie und den ihnen zugeordneten Unterthemen zurückzugreifen. Andererseits versuchten curriculare Bestrebungen der letzten Jahrzehnte gerade, diese Systematik zu überwinden und den Chemieunterricht von dieser historischen Klammer zu befreien⁸. Beispielhaft sei die Verlagerung der Organischen Chemie aus der Oberstufe in die Mittelstufe in allen Bundesländern genannt. Als allgemeiner Konsens können für das Fach Chemie die von der KMK formulierten **Bildungsstandards** angesehen werden. Diese greifen in den 1990er Jahren entwickelte *Leitlinien* auf, die zentrale Inhalte für den Chemieunterricht darstellen sollten (siehe z. B. H.-J. Becker, Glöckner, Hoffmann, & Jüngel, 1992; Pfeifer, Lutz, & Bader, 2002) und führen sie in so genannten *Basiskonzepten* für das Fach Chemie zusammen: „Die in der Schule relevanten chemischen Fachinhalte mit den zugehörigen naturwissenschaftlichen Fachbegriffen lassen sich auf wenige Basiskonzepte zurückführen. Für den Mittleren Schulabschluss wurden die Basiskonzepte zu Stoff-Teilchen-Beziehungen, zu Struktur-Eigenschafts-Beziehungen, zur chemischen Reaktion und zur energetischen Betrachtung bei Stoffumwandlungen ausgewählt.“ (Beschluss der KMK vom 16.12.2004). Inwieweit alle fachwissenschaftlichen Schlüsselkonzepte durch die Basiskonzepte abgedeckt sind, kann diskutiert werden. Ob der aktuelle Chemieunterricht tatsächlich schon entlang dieser Basiskonzepte organisiert ist, ist sicher für jeden Chemie-Lehrer verschieden.

⁸Auch in der Forschung sind diese Grenzen oft nur noch organisatorischer Natur – inhaltlich haben sie sich längst verwischt.

Was kann man sich unter **fachdidaktischen Schlüsselkonzepten** vorstellen und welche sind dies im Falle des Chemieunterrichts? Sicher gibt es didaktische Schlüsselkonzepte, die vom Unterrichtsfach unabhängig sind – zum Beispiel Prinzipien der Didaktischen Reduktion und Elementarisierung. Der unscharfe und nach wie vor nicht einheitlich definierte Begriff *Methoden* illustriert aber schon, welche Bandbreite an fachübergreifenden didaktischen Schlüsselkonzepten hier angedacht werden können. Eine komplette Abbildung der gesamten Bandbreite fachübergreifender didaktischer Methoden ist nicht Ziel dieser Arbeit, sie wurde zudem an anderer Stelle angestrebt (z. B. Kranz & Schorn, 2008). Das Herausarbeiten zentraler fachtypischer didaktischer Schlüsselkonzepte für das Fach Chemie soll aber versucht werden:

Im Kompetenzmodell der COACTIV-Studie werden beim fachdidaktischen Wissen von Mathematiklehrern ausdrücklich die Aufgaben herausgehoben. Wie bereits erwähnt, hat das Üben von mathematischen Operationen und das Erlangen eines erweiterten Fachverständnisses über entsprechend gestaltete Aufgaben im Mathematikunterricht eine ganz andere zentralere Bedeutung als im Chemieunterricht. Eine vergleichbar zentrale Rolle spielt im Chemieunterricht das **Experiment**: „*Ein Experiment stellt ein systematisch und gelenkt durchgeführtes Untersuchungsverfahren dar, bei dem planmäßig und bewusst Beobachtungen zum Zwecke des Erkennens bestimmter Tatsachen, d. h. Erscheinungen und Gesetzmäßigkeiten, der Wirklichkeit durchgeführt werden. Bei der Durchführung von Experimenten wird die Wirklichkeit unter ganz bestimmten, vom Menschen willkürlich geschaffenen, Bedingungen beobachtet*“ definierte Keune bereits 1963 (Keune, 1963). Er spezifizierte, dass bei chemischen Experimenten in der Regel chemische Reaktionen unter möglichst genau festgelegten Bedingungen durchgeführt werden, die in der Wissenschaft der Erkenntnisgewinnung dienen und als *Fragen an die Natur* beschrieben werden können (ebd. , S. 671). Chemische Experimente geben demnach Antworten auf fachspezifische Fragestellungen. Damit sind sie ein zentraler Schritt des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges und machen den Chemieunterricht so zu einem Abbild der Fachwissenschaft Chemie – sie verschaffen ihm **Authentizität**. Neben der Betrachtung des Experiments als Original kann das Experiment im Chemieunterricht auch als Instrument zur Übermittlung bestimmter Inhalte gesehen werden. Als **Medium** vermittelt es das Erreichen verschiedener fachspezifischer didaktischer und pädagogischer Bildungsziele. Seine Bedeutung geht aber weit über die eines Mediums hinaus, denn es ist außerdem **Inhalt** des Lehrplans für Chemie in allen Schularten und Jahrgangsstufen und damit selbst **Lehrziel**. Dem entsprechend kann es an allen didaktischen Orten einer Unterrichtsstunde eingesetzt werden: Als Motivation und Einstieg (z. B. Schauexperiment), zum Aufwerfen einer Fragestellung oder kognitiven Dissonanz, zum Gewinnen von Daten, zum Beleg eines Phänomens, zum Nachvollziehen eines historischen Weges, zur Ausweitung eines Problems, zur Wiederholung einer Fertigkeit, als Leistungsüberprüfung (z. B. die Fähigkeit, eine Destillationsapparatur korrekt aufzubauen), als krönender Abschluss einer Stunde u.v.m. Damit haben Experimente im Chemieunterricht die Funktion einer **Methode**. Als Schüler-Übung ermöglichen Experimente im Chemieunterricht schließlich

Realbegegnungen und fordern die Eigentätigkeit der Schüler. Diese haptische, kognitive und in der Regel auch sozial-kommunikative Aktivierung der Schüler bewirkt ein höheres Interesse und somit eine höhere **Motivation** (Schmidkunz & Lindemann, 1992).

Viele weitere Aspekte der Bedeutung von Experimenten im Chemieunterricht wurden und werden diskutiert, wofür auf die diesbezügliche didaktische Literatur verwiesen werden soll (z. B. Barke & Harsch, 2001; H.-J. Becker et al., 1992; Keune, 1963; Pfeifer et al., 2002; Ralle, 1992). Aktuell wird besonders reflektiert, inwieweit im Unterricht Experimente im Sinne der Naturwissenschaft Chemie durchgeführt werden. Letztere sind vorrangig dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Hypothese testen und damit ergebnisoffen sind. Außerdem bedürfen sie in der Regel aufwändiger methodischer Vorversuche. Im Gegensatz dazu steht am Anfang eines Schüler-Experiments im Unterricht in der Regel keine Fragestellung, sondern eine Handlungsanweisung (Hartinger, Grygier, Tretter, & Ziegler, 2013) und es finden keine Vorversuche statt. Viele Autoren sind daher dazu übergegangen, Experimente von *Versuchen* zu unterscheiden. Dennoch kann abschließend sicher festgestellt werden, dass ein großer Konsens darin herrscht, dass das Experiment ein Schlüsselkonzept des Chemieunterrichts ist.

Der unterrichtliche Weg vom bei einem Experiment beobachteten Phänomen hin zum Verständnis des Geschehens auf Teilchenebene ist in der Regel für Schüler sowohl zeitlich, räumlich als auch mental sehr lang. Vom Durchführen des Experimentes bis zum Aufräumen vergeht Zeit, zwischen Experimentiertisch und der Abbildung auf der Tafel oder Folie liegt Raum und zwischen dem Verfärben einer Lösung und der inneren Vorstellung von der Art und Veränderung der Teilchen dabei liegen viele gedankliche Schritte, Verbalisierungshürden und Visualisierungsversuche. Umso wichtiger sind *didaktische Stützen*, die dem Schüler zu einem korrekten Verständnis verhelfen. Diese Rolle können **Modelle** einnehmen, die als weiteres für den Chemieunterricht zentrales Schlüsselkonzept anzusehen sind. Chemie hebt sich von anderen in der Schule unterrichteten Naturwissenschaften vor allem dadurch ab, dass es eine sichtbare Realebene gibt, die man nur mit Unsichtbarem erklären kann. Die Ursache der chemischen Vorgänge findet sich auf der Teilchenebene – und die Teilchen sind zu klein, um direkt beobachtbar zu sein⁹. Damit müssen modellhafte Vorstellungen herangezogen werden, die als Vermittler zwischen der Realität bzw. dem *Original* sowie dem Verständnis dienen. Aber inwiefern ist dies eine chemietypische Besonderheit im schulischen Umfeld?

In der Physik sind die in der Mechanik beschriebenen Kräfte natürlich auch nur über ihre Wirkung sichtbar zu machen. Auch *Energie* manifestiert sich in vielen Erscheinungsformen. Kräfte und Energie sind Phänomene, denen Kinder schon in frühem Alter in ihrem Alltag begegnen – weil sie universell in unserer Umgebung vorkommen, im Besonderen aber, weil unser Körper spezielle Sinne für sie hat und

⁹Die Entwicklung des Rastertunnelmikroskops relativiert diese Behauptung. Da es an dieser Stelle aber um eine generelle Abgrenzung geht, deren Verlauf sicher diskutierbar ist, über deren Berechtigung aber Einigkeit besteht, muss die entsprechende Diskussion an anderer Stelle erfolgen.

letztlich deshalb, weil die Eltern in der Regel Worte zur Beschreibung dieser Phänomene kennen. *Wärme*, *Licht* oder *Kraft* sind Begriffe, die Elementarerfahrungen eines Menschen beschreiben und daher schon früh in der Menschheitsgeschichte entstanden sein dürften und früh im Leben erlernt werden. Unser Körper hat zwar Geschmacks- und Geruchs-Sinne, mit denen chemische Verbindungen bis zu einem gewissen Grade wahrgenommen und spezifiziert werden können (*süß*, *sauer*, *salzig*, ...), darüber hinaus erfordert unser Alltag aber keinerlei Worte für chemische Phänomene. Wenn Tee seine Farbe durch Zitrone verändert, wenn Seife mit Kalk ausflockt, wenn ein Pudding geliert, so sind dies keine überlebenswichtigen Prozesse. Es gibt wenig Grund, die Vorgänge zu thematisieren und so verwenden Eltern auch nur selten entsprechende Begriffe. Kinder wachsen also in der Regel ohne (bewusste) *chemische Vorerfahrungen oder chemische Begriffe* auf. Den Erklärungsmodellen der Chemie begegnen sie damit im Unterricht erstmals – und haben nicht selten Probleme mit der hohen Abstraktheit dieser Modelle.

„Modelle sind ideelle oder materielle Repräsentanten eines Systems bezüglich bestimmter Eigenschaften, sodass neue Informationen über das Original erhalten werden“ (Kometz, Bauer, Schmitt-Sody, & Scheffler, 2013, S. 371), die Wahrscheinlichkeitscharakter tragen. Dabei wird durch das Modell entweder ein Sachverhalt simuliert oder konkretisiert, also in Bezug auf einen Aspekt spezifisch nach- oder dargestellt. Für Konkretisierungen unterscheiden für den Chemieunterricht Kometz et al. drei Varianten: Materielle Konkretisierungen wie Molekülmodelle oder Modellsubstanzen, ikonische Konkretisierungen wie Valenzstrichformeln oder symbolische Konkretisierungen wie chemische Symbole oder Reaktionsgleichungen. Grundsätzlich ist jedem Modell eigen, dass es ein Abbild des Originals ist (Abbildungsmerkmal). Dabei fokussiert es sich auf einen spezifischen Aspekt, stellt also nicht alle Aspekte, die das Original aufweist, in gleichem Maße dar (Verkürzungsmerkmal). Schließlich repräsentiert das Modell in der Regel einen spezifischen Gedankengang, dem man folgen muss, um es zu verstehen (Subjektivierungsmerkmal) (Barke & Harsch, 2001, S. 136). Gegenständliche Modelle können zum Beispiel eine chemische Anlage darstellen oder die Anordnung der Kationen und Anionen in einem Salzkristall aufzeigen, also einen relativ geringen Abstraktionsgrad aufweisen bzw. tatsächlich *begreifbar* sein. Wesentlich wichtiger sind in der Chemie aber theoretische Modelle (z. B. Säure-Base-Konzept; Bindungs- und Teilchenmodelle; chemisches Gleichgewicht). Sie stellen das zentrale Medium dar, um die Vorgänge auf Teilchenebene zu erklären und kommen in der Chemie standardisiert zum Einsatz. Typischer Ausdruck solcher Modelle sind **Reaktionsgleichungen**, ohne die die Wissenschaft Chemie nicht denkbar ist, und die auch im Chemieunterricht nach wie vor eine wichtige Rolle spielen. Die Abstraktheit einer solchen chemischen Gleichung wird offensichtlich, wenn man mit Hilfe von Begriffsgruppen einige ihrer Bedeutungsebenen aufzeigt (Abbildung 2).

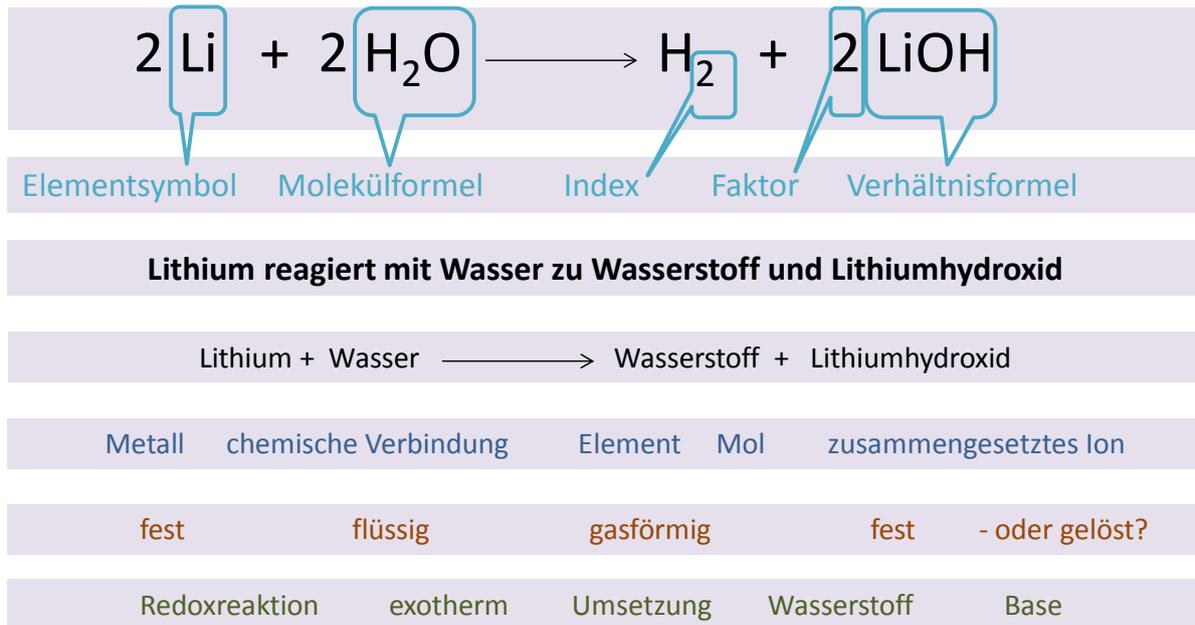


Abbildung 2: Einige Bedeutungsebenen einer chemischen Reaktions-Gleichung

Modelle sind also der Fachwissenschaft Chemie inhärent. Sie sind damit essentieller Bestandteil des Fachwissens der Lehrkraft. Andererseits stellt der souveräne Umgang mit ihnen, also die fachgerechte Didaktisierung durch die Lehrkraft eine besondere Herausforderung des Chemieunterrichts dar. Zur Bewältigung dieser Herausforderung greift die Lehrkraft auf ihr zentrales Fach- und Handlungswissen und dabei auf ihre **Scripts** zurück (Kunter et al., 2011, S. 34). Im Falle des Chemieunterrichts ist davon auszugehen, dass die zentralen Scripts der Lehrkräfte in der Regel mit den beschriebenen fachdidaktischen Schlüsselkonzepten verknüpft sind, also mit inneren Konzepten von Ablauf und Organisation von Versuchen sowie der Verwendung von Modellen. Die Repräsentation des Wissens einer Chemie-Lehrkraft über den Unterricht z. B. zum Hochofenprozess dürfte also um ein Artikulationsschema-ähnliches Script organisiert sein, das Modelle (z. B. chemische Gleichungen) und Versuche (z. B. Schülerübung zur Reduktion von Kupferoxid mit Kohle) vorsieht.

Im Folgenden sollen die in der COACTIV-Studie vorgegebenen drei Teilbereiche des Professionswissens unter Berücksichtigung der oben dargestellten Repräsentationsformen für den Chemielehrer diskutiert werden:

2.4.2. Fachwissen (CK)

Die Bedeutung des Fachwissens für die Lehrkraft ist unumstritten. Helmke stellt sie sehr eindrücklich dar als: *„»Stricken ohne Wolle« oder »Luftgitarre spielen« – dies sind Metaphern, die auf die Bedeutung von Sachkompetenz, auf die unabdingbare Fachlichkeit des Unterrichts abzielen. Das eleganteste Lehr-Lern-Szenario, die ausgefeilteste Unterrichtsmethode nutzt nichts, wenn es an Sach- und Fachkompetenz fehlt“* (2010, S. 114). Etwas sachlicher formulieren Baumert und Kunter: *„In der einschlägigen Fachliteratur besteht Übereinstimmung darüber, dass eine solide Wissensbasis in der jeweiligen Unterrichtsdomäne eine zentrale Komponente der professionellen Kompetenz von Lehrkräften darstellt“* (2011, S. 164). Chemie unterrichten kann also nur, wer die Fachwissenschaft Chemie auch verstanden hat, ja, beherrscht. Die Frage ist, was unter einer „soliden Wissensbasis“ zu verstehen ist.

In Deutschland sehen die Lehrerprüfungsordnungen (LPO I und II) für die verschiedenen Schularten eine abgestufte Tiefe des fachwissenschaftlichen Studiums vor, denn ein Grundschullehrer benötigt für seinen Unterricht keine Kenntnisse über z. B. komplexe Reaktionsmechanismen. Das dem entsprechend *vertieft* benannte Lehramtsstudium für das Gymnasium hingegen sieht ein weitergehendes Eindringen in die Fachwissenschaft Chemie vor – aber wie tief? COACTIV erwartet für Mathematik-Lehrkräfte ein „tiefes Verständnis der Schulmathematik“. Welches Fachwissen kann von einer Chemie-Lehrkraft in Bayern erwartet werden? Was ist ein *tiefes Verständnis der Schul-Chemie*?

Die National Science Teachers Association der USA hat einen umfassenden Katalog herausgegeben, der für die verschiedenen Schularten detailliert festlegt, welches Wissen von den Lehrkräften einer bestimmten Jahrgangsstufe zu erwarten ist, *„The Next Generation Science Standards NGSS“*. Dieser Katalog stellt einen Konsens von Mitwirkenden aus 41 Staaten der USA dar. Einen äquivalenten Katalog gibt es weder für Deutschland insgesamt, noch für Bayern. Bis zur Abschaffung der Kollegstufe 2008 konnte das Wissen, das in einem Chemie-Leistungskurs vermittelt wurde, als das *Minimum* an Fachwissen angesehen werden, das ein bayerischer Chemielehrer sicher beherrschen musste. Mit Abschaffung der Leistungskurse und Einführung der Seminare liegt nun kein derartiger Lehrplan und damit auch kein festgeschriebener Themenkatalog mehr vor.

Die **LPO I und II** legen formal fest, welche Leistungen ein Studierender für das Lehramt Chemie am Gymnasium bzw. was ein Referendar in diesem Fach zu erbringen hat. Die Formulierungen in Bezug auf die Inhalte sind in der LPO I aber sehr generell und haben eher die Qualität von Überschriften:

(2) Inhaltliche Prüfungsanforderungen

1. Fachwissenschaftliche Kenntnisse

- a) Vertiefte Kenntnisse aus der Anorganischen, Physikalischen, Organischen und Bioorganischen Chemie,
- b) Verständnis für die Bedeutung chemischer Vorgänge in der Natur, Kenntnis und Verständnis für die Beziehungen der Chemie zu den anderen Naturwissenschaften, zur Technik und zur Wirtschaft.

(LPO I, Abschnitt V § 62, vertieftes Studium der Fächer)

In der LPO II werden gar keine fachwissenschaftlichen Inhalte mehr aufgeführt. Auch diese ministeriellen Rahmenvorgaben helfen also nicht dabei das Fachwissen zu umreißen, das angehende Lehrkräfte im Zuge des ersten Ausbildungsabschnitts an der Universität und im zweiten Ausbildungsabschnitt, dem Referendariat erwerben müssen. Die Autoren der ProwiN-Studie beziehen sich dem entsprechend auch nicht auf die LPO-Vorgaben. Sie zählen zum Fachwissen für das Fach Chemie a) die Standards der KMK für den Mittleren Schulabschluss, b) die Einheitlichen Anforderungen in der Abiturprüfung (EPA) sowie c) „Lehrbücher aus dem Grundstudium, welche klassischerweise am deutschen Universitäten im Lehramtsstudium verwendet werden“ (Tepner et al., 2012, S. 20). Beispielhaft für solche Bücher wurden auf Anfrage *Mortimer*¹⁰ und *Riedel*¹¹ genannt (persönliche Mitteilung Tepner, 2014).

Die Autoren der COACTIV-Studie betrachten für die Mathematik zunächst die Gesamtheit des Fachwissens und formulieren vier grundsätzliche Ebenen von mathematischem Fachwissen:

Ebene 1: Mathematisches Alltagswissen

Ebene 2: Beherrschung des Schulstoffs

Ebene 3: Tieferes Verständnis der Fachinhalte des Curriculums der Sekundarstufe

Ebene 4: Reines Universitätswissen

In dieser Systematik verorten die Autoren der COACTIV-Studie das Fachwissen der Lehrkräfte auf der dritten Eben, da sie die Meinung vertreten: *„Nicht nur, um mathematisch herausfordernden Unterrichtssituationen fachlich jederzeit gewachsen zu sein, sollten Lehrkräfte den von ihnen unterrichteten Stoff auf einem Niveau durchdringen, das in seiner Qualität über dem in Unterricht üblichen Bearbeitungsniveau liegt. Vielmehr sollte – wir schließen damit wiederum an Shulman an – ein fundiertes Fachwissen auch sicherstellen, dass Argumentationsweisen und das Herstellen von Zusammenhängen, mithin das Sichern von*

¹⁰Charles E. Mortimer, überarbeitet von U. Müller: *Chemie – Das Basiswissen der Chemie*. Thieme Verlag.

¹¹E. Riedel, überarbeitet von C. Janiak: *Anorganische Chemie*. De Gruyter Verlag.

begrifflichem Wissen, derart erfolgen kann, dass es an die typischen Wissensbildungsprozesse des Fachs [...] anschließen kann. Mehr Fachwissen kann also für Lehrerinnen und Lehrer nicht nur bedeuten, ihren Schülerinnen und Schülern curricular „voraus“ zu sein. Fachwissen muss vielmehr auch ein tieferes Verständnis der Inhalte des mathematischen Schulcurriculums einschließen“ (Kunter et al., 2011, S. 143). Diesen Gedanken führt DiFuccia in einem Vortrag genauer aus. Er betont ebenfalls, dass es für eine Lehrkraft nicht reicht, Erkenntnisse der Fachwissenschaft zu wissen oder anwenden zu können. Eine Lehrkraft müsse diese Erkenntnisse verstanden und für sich verinnerlicht haben, um sie seinen Schülern vermitteln zu können. *„Was man nicht weiß, kann man nicht verstehen, was man nicht verstanden hat, kann man nicht erklären. Das Verständnis vermittelt also zwischen Wissen und Erklären, und das Erklären ist ja gerade die Kernaufgabe des Lehrers“* (DiFuccia, 2011). Er fordert daher von Lehrkräften nicht nur ein Fachwissen, sondern eine **Fachlichkeit**. Diese sei gekennzeichnet durch a) reflektiertes, b) eingesehenes und c) im besten Sinne verstandenes Fachwissen. *„Fachlichkeit heißt die Einsicht zu haben, wo ein bestimmter Wissensinhalt im Gebäude des Faches seinen Platz hat, worauf er ruht, was er bedeutet und was sich aus ihm weiter entwickeln lässt. Fachlichkeit ist also, wenn man so will, eine Art Meta-Verständnis der Struktur des Faches und seiner Wissensbestände“* (DiFuccia, 2011). Nur wenn die Lehrkraft über eine solche Fachlichkeit verfüge, könne sie die wichtigste Frage des Lernenden beantworten, nämlich die nach dem *Warum*.

In dieser Arbeit wird daher davon ausgegangen, dass eine Lehrkraft über ein Fachwissen im Sinne einer Fachlichkeit verfügen muss. Dies geht über die Inhalte des Unterrichts hinaus, ist also weiter gefasst, als zum Beispiel die in der EPA vorgegebenen Fakten. Eine Souveränität in der Beantwortung von Schülerfragen, ein Überblick über größere Zusammenhänge in der Chemie und ein Konzept von den Möglichkeiten der Fachwissenschaft und ihrer Stellung in der Gesellschaft kann eine Lehrkraft nur erbringen, wenn sie deutlich mehr weiß, als die den Schülern letztlich zu vermittelnden Kenntnisse und Fertigkeiten. Für den zweiten Ausbildungsabschnitt wird angenommen, dass es im Zusammenhang mit speziellen für den Unterricht aufgearbeiteten Alltagsbezügen oder ungewöhnlichen Experimenten im Einzelfall sicher auch zu einer Vertiefung des Fachwissens kommen kann, wenn die Lehrkraft im Detail recherchiert. Generell ist durch die primär didaktisch und pädagogisch ausgerichtete Ausbildung im Referendariat aber nicht grundsätzlich vom Erwerb weiteren chemischen Fachwissens auszugehen.

Nicht fachspezifisches Fachwissen

Über das reine chemische Fachwissen hinaus kann man davon ausgehen, dass alle Lehrkräfte im Gymnasium über weiteres professionsbezogenes, aber nicht notwendiger Weise fachbezogenes Faktenwissen verfügen. Beispielhaft seien hier Wissen über digitale Medien und ihre Nutzung, Wissen über Präsentationstechniken oder Wissen über übliche Computeranwendungen genannt. Man kann diskutieren, inwiefern dieses Wissen nicht als Allgemeinwissen angesehen werden kann. Dem kann entgegnet werden, dass alle Gymnasiallehrkräfte dieses Wissen regelmäßig im Rahmen ihres Unterrichts benötigen und die übergeordneten Lehrplanebenen die Vermittlung dieser Inhalte auch von Chemie-Lehrern verlangen. Nicht zuletzt ist die Vermittlung von Präsentations- und Kommunikations-Kompetenzen auch für das Fach Chemie in den Bildungsstandards der KMK vorgesehen (KMK, 2005), wofür das Beherrschen des entsprechenden Faktenwissens eine unverzichtbare Voraussetzung ist. Daher soll auch nicht fachspezifisches Wissen im Rahmen dieser Arbeit zum CK eines Chemie-Lehrers gezählt werden.

Abgrenzung von Fachwissen über die *Natur der Naturwissenschaften* von epistemologischen Überzeugungen

Epistemologische Überzeugungen (*epistemological beliefs*) davon, wie Wissen in den Naturwissenschaften generiert wird, gehören zum Professionswissen der Lehrkräfte. Weiterhinsollen die Lehrkräfte den Schülern ein realistisches Bild der Natur der Naturwissenschaften (NdN; engl. nature of science NOS) vermitteln – und benötigen daher entsprechendes Faktenwissen (CK) sowie Didaktisches Wissen (PCK). Inwiefern unterscheiden sich epistemologische Überzeugungen und Wissen über NOS bzw. über deren Vermittlung voneinander? Neumann et al. diskutieren diese Frage ausführlich und schlagen eine Trennlinie zwischen diesen drei Facetten von Lehrerverberuf in Bezug auf fünf Aspekte vor (Neumann & Kremer, 2013) wobei sie betonen, dass die Unterschiede sehr subtil sind und daher keine scharfe Abgrenzung möglich ist. Dennoch kann für diese Arbeit entlang der genannten fünf Aspekte eine Trennlinie erarbeitet werden (Abbildung 3), um für die vorgenommene Studie eine eindeutige Abgrenzung der entsprechenden Kategorien zu erreichen.

Abbildung 3: Fünf Aspekte zur Unterscheidung von *epistemological beliefs* und Wissen über NOS in Anlehnung an (Neumann & Kremer, 2013)

Fünf Aspekte, auf die bezogen eine Unterscheidung getroffen werden kann:	Allgemeine Werthaltung / epistemologische Überzeugung	Wissen über die Natur der Natur der Naturwissenschaft NOS
Disziplinen-Spezifität	Bezieht sich potenziell auf alle Wissensdimensionen	Bezieht sich auf die Naturwissenschaften
Theoretisches Konstrukt wird z. B. diskutiert in Bezug auf die folgenden Inhalte	<ul style="list-style-type: none"> - Komplexität der Wissens-Inhalte, ihre Vernetztheit und ihre Wechselbeziehungen untereinander - Quelle des Wissens: Wissen als ein von außen herangetragenes Konstrukt versus ein selbst konstruiertes Konstrukt; Wer kann Wissen generieren? - Einschätzung der eigenen Fähigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung - Unterscheidung Theorie und Gesetz - Zielt auf das Erklären von Phänomenen - Rolle der Scientific Community - Eingebundenheit in einen gesellschaftlichen Rahmen (insgesamt: <i>nature of science inquiry NOSI</i>¹²)
Persönliche vs. Wissenschaftliche Perspektive	Es geht um die Einschätzung des eigenen Lernens oder Handelns in den Naturwissenschaften	Naturwissenschaftsphilosophische Betrachtung des naturwissenschaftlichen Wissens im Allgemeinen
Ansicht vs. Wissen	„not necessarily conscious determinants of an individuals' behavior“ belief-System	Entspricht für das Forschen benötigtem Fach- und Sachwissen (<i>nature of science knowledge NOSK</i>)
Deskriptive vs. Normative Herangehensweise	Deskriptiv (z. B. <i>naïve vs. sophisticated</i>)	Normativ (z. B. Bildungsstandards)
Resultierende Unterscheidung (Kategorie) für diese Arbeit	⇒ beliefs	⇒ CK Vermittlung dieses Fachwissens: ⇒ PCK

¹² Detailliertere Diskussion der Konstrukte *NOSI* und *NOSK* folgt in Kap. 3.3

Damit wird für die vorliegende Studie klar zwischen den Kategorien unterschieden und es können entsprechende Codierregeln definiert werden (Tabelle 1 sowie Codierleitfaden im Anhang), nach denen die Aussagen der Lehrkräfte sich kategorisieren lassen.

Tabelle 1: Kategoriale Abgrenzung von CK und PCK über NOS sowie *beliefs*

Kategorie	Codierregel
<i>beliefs</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Allgemeine Aussagen über die Entstehung, die Komplexität und die Inhalte von Wissen, die nicht die Naturwissenschaften im Speziellen betreffen. • Aussagen zur Einschätzung der eigenen Fähigkeiten in Bezug auf das Generieren von Wissen. • Aussagen zur Einschätzung des eigenen Lernens und Handelns in den Naturwissenschaften. • (unbewusste) Meinungen zu epistemologischen Themen.
CK	<p>Aussagen von Lehrkräften, für die sie ihr Wissen über folgende Aspekte benötigen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aussagen zu naturwissenschaftlichem Fach- und Sachwissen • Aussagen, die sich auf die Naturwissenschaften im Besonderen beziehen. • Aussagen zu Inhalt und Entstehung von naturwissenschaftlichem Wissen (also auch zu NOSK) • Wissen über Wege und Methoden naturwissenschaftlichen Forschens (NOSI) – zum Beispiel über die Abläufe des naturwissenschaftlichen Forschungsprozesses, über Funktion und Ablauf von Experimenten, Wissen darum, dass eine Fragestellung oder Hypothese bearbeitet werden muss und wie man in den Naturwissenschaften zitiert. • Unterscheidung zwischen Beobachtung und Schlussfolgerung • Unterscheidung zwischen Theorie und Gesetz • Erklären von Phänomenen als Ziel der Naturwissenschaften • Rolle der Scientific Community • Eingebundenheit der Wissenschaft in den gesellschaftlichen Rahmen • Äußerungen zu grundsätzlichen naturwissenschaftsphilosophischen Betrachtungen von naturwissenschaftlichem Wissen • Allgemeines Faktenwissen über Projektmanagement, Berufe und Studiengänge • Können und Wissen zur Anwendung von Computerprogrammen, zu Literaturrecherche und Zitieren sowie über Präsentieren und Vortragen
PCK	<ul style="list-style-type: none"> • Aussagen zur Vermittlung des unter CK genannten Wissens an die Schüler

2.4.3. Pädagogisch-Psychologisches Wissen (PK)

Pädagogisch-Psychologisches Wissen (*pedagogical and psychological knowledge PK*) ist nach Voss und Kunter definiert als das „Wissen, das für eine erfolgreiche Gestaltung und Optimierung der Lehr-Lern-Situation in verschiedenen Unterrichtsfächern nötig ist und deklarative sowie prozedurale Aspekte [...] beinhaltet“ (Kunter et al., 2011, S. 194). Die Autoren fassen diese „weitgehend konsensfähigen“ Aspekte pädagogisch-psychologischen Wissens einer Lehrkraft in folgender Tabelle zusammen (2011, S. 39):

Tabelle 2: Facetten generischen pädagogischen Wissens

1	<p>Konzeptuelles bildungswissenschaftliches Grundlagenwissen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erziehungsphilosophische, bildungstheoretische und historische Grundlagen von Schule und Unterricht - Theorie der Institution - Psychologie der menschlichen Entwicklung, des Lernens und der Motivation
2	<p>Allgemeindidaktisches Konzeptions- und Planungswissen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Metatheoretische Modelle der Unterrichtsplanung - Fachübergreifende Prinzipien der Unterrichtsplanung - Unterrichtsmethoden im weiten Sinne
3	<p>Wissen über Unterrichtsführung und Orchestrierung von Lerngelegenheiten</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inszenierungsmuster von Unterricht - Variation von Sozialformen und Methoden - Effektive Klassenführung (<i>classroom management</i>) - Sicherung einer konstruktiv-unterstützenden Lernumgebung
4	<p>Wissen über fachübergreifende Prinzipien des Diagnostizierens, Prüfens und Bewertens</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lernen und Leisten: Grundlagen der Diagnostik - Prozessdiagnostik - Rückmeldungen - Summatives Prüfen und Bewerten
5	<p>Methodische Grundlagen empirischer Sozialforschung</p>

Dabei wird davon ausgegangen, dass diese Facetten pädagogisch-psychologischen Wissens fachunabhängig sind, womit die Aufstellung identisch für Chemie-Lehrkräfte gilt. Allerdings merken die Autoren an, dass es durchaus fachbezogene Strategien geben kann, die zum Beispiel die generischen Klassenführungsstrategien unterstützen, wenn es darum geht, die Unterrichtszeit zu optimieren. Für den Chemieunterricht können das zum Beispiel Wege zur effektiven Organisation von Schülerübungen sein (Material in Kisten, Regeln für das Aufräumen und Entsorgen, arbeitsteilige Versuche, Reagenzien-Sets etc.). Ein problemlösender Unterricht ist dabei ein allgemeines Modell der Unterrichtsplanung, ein naturwissenschaftsspezifisches Inszenierungsmuster wäre der forschend-entwickelnde Unterricht. Chemietypisch ist in einem Solchen zum Beispiel die Notwendigkeit, bei Experimenten eventuelle Einschränkungen durch Sicherheitsvorgaben zu berücksichtigen.

Weiterhin postulieren Kunter und Voss, dass ein Wissen über Lernstrategien oder Strategien zur Lernförderung generisch sei. Dieses Wissen sei, so schreiben sie, hilfreich und notwendig, um eine hohes Maß an kognitiver Aktivierung im Unterricht zu erreichen. Es müsse aber unterstützt werden durch Wissen über die Kognitionen der Lernenden in dem jeweiligen Fach. Solche **Schülervorstellungen** spielen gerade im Fach Chemie eine große Rolle und werden im Zusammenhang mit Fehlvorstellungen (*misconceptions*) in der chemiedidaktischen Literatur umfassend diskutiert (siehe z. B. Barke, 2006; Oetken & al., 2011). Hier wird deutlich, dass die Grenzen zwischen allgemeinem pädagogisch-psychologischem Wissen und didaktischem Wissen von Chemie-Lehrkräften nur schwer scharf zu ziehen sind. Für diese Arbeit werden sie im Zuge der Entwicklung des Kategoriensystems diskutiert (siehe Kap. 4.5) und im Codierleitfaden (siehe Anhang) festgelegt.

2.4.4. Fachdidaktisches Wissen (PCK)

Kaum ein theoretisches Konstrukt wird in der internationalen didaktischen Forschung zurzeit so rege diskutiert und intensiv untersucht wie das *pedagogical content knowledge PCK*. Im deutschsprachigen Raum wird es meist als Didaktisches oder Fachdidaktisches Wissen bezeichnet¹³. Bindernagel gibt ausgehend von Shulmans bereits zitiertem Vortrag (1986), einen ausführlichen Überblick über die Genese des Begriffes (2010). Während pädagogisches Wissen (PK) und Fachwissen (CK) auch bei Vertretern anderer Professionen zu finden ist (z. B. bei anderen Lehrkräften bzw. bei Fachwissenschaftlern), ist didaktisches Wissen (PCK) ein Alleinstellungsmerkmal von Lehrern. Borowski et al. formulieren: „*PCK ist die Wissensdimension, die nur Lehrkräfte haben und brauchen*“ (2011; Übers. aus d. Engl. Autorin). Loughran, Berry und Mulhall konkretisieren: “*PCK is the knowledge that teachers develop over time, and through experience, about how to teach particular content in particular ways in*

¹³Das Wort *didactic* hat im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch eine andere Bedeutung als im Deutschen. Es ist negativ behaftet, da es ein eher ein stark lehrerdominiertes, dozierendes Vorgehen beschreibt.

order to lead to enhanced student understanding”¹⁴ (2012). Die aktuellste Definition für PCK stellt Gess-Newsome (2015) im Ergebnisprotokoll des so genannten *PCK Summit* vor. Diese Tagung fand 2012 in Colorado Springs, USA statt und hatte die Diskussion des wissenschaftlichen Konstrukts PCK im Hinblick auf zukünftige Forschung zum Ziel. Die gewonnenen Erkenntnisse fasst Gess-Newsome in einem neuen Modell des Professionswissens von Lehrkräften, dem *Model of teacher professional knowledge and skill including PCK and influences on classroom practice and student outcomes* zusammen (Abbildung 4). Im Folgenden sollen nur einige das Konstrukt PCK betreffende Aspekte des Modells diskutiert werden:

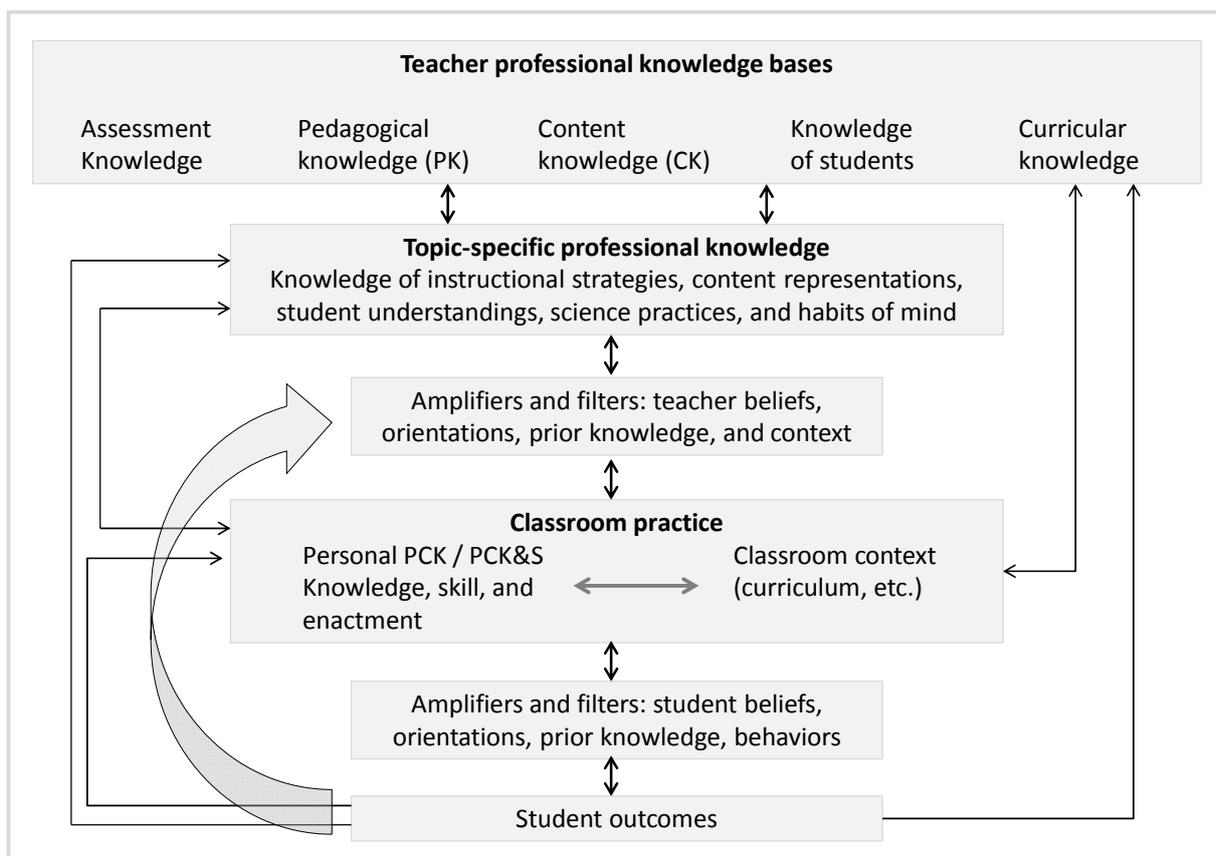


Abbildung 4: Modell des Professionswissens¹⁵

Grundsätzlich unterscheidet Gess-Newsome zwischen Kontext-unabhängigem und Kontext-abhängigem Wissen. Unter *Kontext* versteht sie dabei die eigentliche unterrichtliche Situation. *Kontext-unabhängig*, also vom konkreten Unterrichtsgeschehen unabhängig, sind zwei Aspekte des Professionswissens von Lehrkräften: Zum einen das Basiswissen der Lehrkraft (*Teacher professional knowledge bases TPKB*) zu der sie zum Beispiel CK, PK und Wissen über Schüler-Vorwissen zählt. Zum anderen das so genannte Themenspezifische Wissen (*Topic-specific professional*

¹⁴ Übers. Autorin: „PCK ist das Wissen, das Lehrkräfte im Laufe der Zeit und durch Erfahrung darüber erwerben, wie man einen bestimmten Inhalt auf eine bestimmte Weise unterrichtet, um ein verbessertes Verständnis bei den Schülern zu erreichen“

¹⁵Nach (Gess-Newsome, 2015)

knowledge TSPK) einer Lehrkraft. Basiswissen und Themenspezifisches Wissen der Lehrkraft können nach diesem Modell als relativ statisch und „offen sichtbar“¹⁶ angenommen werden, und unterscheiden sich damit maßgeblich von dem Wissen, das im Klassenraum beansprucht wird, nämlich dem didaktischen Wissen. Dieses wird von der Lehrkraft nach Gess-Newsome nur während des Unterrichtens benötigt: „Classroom practice is the location of PCK“ (2015, S. 36). Die Autorin beschreibt PCK als „schnell“, womit sie meint, dass didaktische Planung während des Unterrichtens durch die Lehrkraft spontan und teilweise als Reaktion auf Unerwartetes erfolgt. Die didaktischen Entscheidungen werden im Zuge des Unterrichtsgeschehens auf der Grundlage persönlicher Überzeugungen „stillschweigend“ getroffen¹⁷. Aus dieser Auffassung von PCK ergab sich als Ergebnis des *Summit* eine Differenzierung des Konstrukts PCK in zwei Aspekte, die Gess-Newsome wie folgt definiert:

- „Personal PCK is the *knowledge* of, *reasoning* behind, and *planning* for teaching a particular *topic* in a particular *way* for a particular *purpose* to particular *students* for enhanced *student outcomes* (Reflection on Action, Explicit).
- Personal PCK&S is the *act of teaching* a particular *topic* in a particular *way* for a particular *purpose* to particular *students* for enhanced *student outcomes* (Reflection in Action, Tacit or Explicit)”¹⁸

Die Autorin unterscheidet also zwischen *Fachdidaktischem Wissen* (PCK) einerseits, das beim Nachdenken über das Unterrichten und damit bei der Planung des Unterrichts benötigt wird, und einem *Fachdidaktischen Wissen und Können* (*pedagogical content knowledge and skill*, PCK&S) andererseits, auf das die Lehrkraft während des Unterrichts zugreift. Im Gegensatz hierzu sieht das Kompetenzmodell von Kunter et al. auf der Ebene des PCK keine ausdrückliche Differenzierung in Wissen und Können vor. PCK wird von den COACTIV-Autoren als Teil des Wissens einer Lehrkraft verstanden, das erst im Zusammenwirken mit Überzeugungen, Motivation und Selbstregulation die professionelle Kompetenz der Lehrkraft ausmacht. Zu dieser bemerken die Autoren: „Kompetenz umfasst [...] sowohl die Fähigkeit als auch die Bereitschaft zu handeln“ (Kunter et al., 2011, S. 47). Allerdings bezeichnen die Autoren PCK als einen *Kompetenzbereich*, womit impliziert wäre, dass zum didaktischen Wissen einer Lehrkraft auch die Handlungskompetenz gehört. An anderer Stelle bezeichnen Baumert und Kunter „Wissen und Können“ als „Kern der Professionalität“ der Lehrkraft und setzen es mit deklarativem, prozeduralem und strategischem Wissen gleich (Kunter et al., 2011, S. 33). Man kann also vermuten, dass für die Autoren der COACTIV-Studie immer dann, wenn sie von didaktischem Wissen einer Lehrkraft sprechen, auch das Können gemeint ist und in der Studie entsprechend gemessen wurde (siehe hierzu auch Neuweg, 2011). Analog sehen die Autoren der ProwiN-Studie in ihrem Modell drei verschiedene Ausprägungen für das PK- und PCK-Wissen einer Lehrkraft vor (Abbildung 5). Sie nennen diese Ausprägungen „Wissensarten“ und

¹⁶Übersetzungen Weirauch

¹⁷Übersetzungen Weirauch

¹⁸Kursive Schreibweise aus dem Original übernommen.

verstehen darunter deklaratives, prozedurales und konditionales Wissen. Auch hier ist damit die Handlungskompetenz impliziter Bestandteil des PCK.

Ob, wie es Gess-Newsome annimmt, für das Nachdenken über und Planen von Unterricht wirklich ein deutlich anderes Wissen benötigt wird, als während des Unterrichtens, und ob das Können der Lehrkraft nur innerhalb des Unterrichts eine Rolle spielt, wird hier bezweifelt. Das fachdidaktische Können der Lehrkraft wird sicher nicht nur im Rahmen des Unterrichtens benötigt. Ein Chemie-Lehrer muss z. B. schon bei der Vorbereitung eines Schüler-Versuchs außerhalb der eigentlichen Stunde auch die konkrete Vermittlung des fachlichen Inhaltes oder mögliche Fragen der Schüler bedenken. Die Materialien und Versuche müssen entsprechend vorbereitet werden, was auch ein Können erfordert. Nach Erfahrung der Autorin entspricht das Planen von Unterricht immer einer unmittelbaren Antizipation der eigentlichen Stunde und kommt bei entsprechender unterrichtlicher Souveränität in der Regel dem darauffolgenden Unterrichtsgeschehen sehr nahe. Dass fachdidaktische Herangehensweisen im Zuge des Unterrichtens spontan umgeworfen werden kommt zwar sicher vor, dabei dürfte aber kein maßgeblich anderes Wissen von der Lehrkraft gefordert sein als sie bei der Planung ihres Unterrichts zur Verfügung hat. Dennoch soll die von Gess-Newsome aufgeworfene Unterscheidung zwischen PCK-Wissen einerseits und PCK-Können andererseits aufgegriffen werden: Der Umstand, dass eine Lehrkraft über bestimmtes fachdidaktisches Wissen verfügt (im Sinne eines deklarativen Wissens), bedeutet weder zwingend, dass sie die Anwendung beherrscht, noch, dass sie es tatsächlich anwendet. Ein Lehrer kann wissen, wie er Chemieunterricht nach dem forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren konzipiert und dennoch diese Methode nicht in sein unterrichtliches Repertoire aufnehmen. Unter dieser Prämisse kann man davon ausgehen, dass die Lehrkraft über ein weiter gefasstes fachdidaktisches Wissen verfügt, als sie letztlich für ihren Unterricht aktiv einsetzt. Konkret gesprochen kennt die Lehrkraft theoretisch mehr als sie letztlich auch praktisch beherrscht bzw. nutzt. PCK&S wäre damit eine Teilmenge des PCK einer Lehrkraft. Da in dieser Arbeit aus den Berichten der Lehrkräfte von Ihrem Tun auf ihr Wissen zurückgeschlossen wird, wird zwangsläufig auch das fachdidaktische Können der Lehrkräfte betrachtet und die hier getroffenen Schlussfolgerungen sind entsprechend zu verstehen.

Kunter et al. (Kunter et al., 2011) fassen PCK als „Wissen über das »Verständlichmachen von Inhalten«“ zusammen. Konkret unterscheiden sie innerhalb des fachdidaktischen Wissens drei **Dimensionen**:

- Wissen über das didaktische und diagnostische Potenzial, die kognitiven Anforderungen und impliziten Wissensvoraussetzungen von Aufgaben, ihre didaktische Sequenzierung und die langfristige curriculare Anordnung von Stoffen
- Wissen über Schülervorstellungen (Fehlkonzeptionen, typische Fehler, Strategien) und Diagnostik von Schülerwissen und Verständnisprozessen
- Wissen über multiple Repräsentations- und Erklärungsmöglichkeiten.

Um ein solches fachdidaktisches Wissen zu erfassen, so schreiben Kunter et al. bedürfe es einer *Theorie des Fachgegenstands, seiner Wissensformen und seiner Wissensstruktur*. Für das Fach Mathematik liegen hierfür ausgearbeitete und empirisch geprüfte Konzeptionen vor (2011, S. 35-36). Für das Fach Chemie fehlen bisher solche geprüften Konzeptionen, sowohl für die genaue Beschreibung des Fachgegenstandes (Fachwissen) als auch seiner Wissensformen und seiner Wissensstruktur (Fachdidaktik). Wie oben diskutiert können als Analogon für die Aufgaben im Mathematikunterricht das Experiment bzw. die Modelle der Chemie für den Chemieunterricht angenommen werden. In der COACTIV-Studie ebenso, wie im Rahmen der ProwiN-Studie (Abbildung 5) wird eine dritte Facette angeführt, nämlich Wissen über Schülervorstellungen, das sicher eine zentrale Kompetenz von Lehrkräften ist. Damit gehört zum PCK von Chemie-Lehrkräften fachspezifisches Wissen über Experimente, Modelle und Schülervorstellungen sowie die Kompetenz, dieses Wissen unterrichtlich umzusetzen.

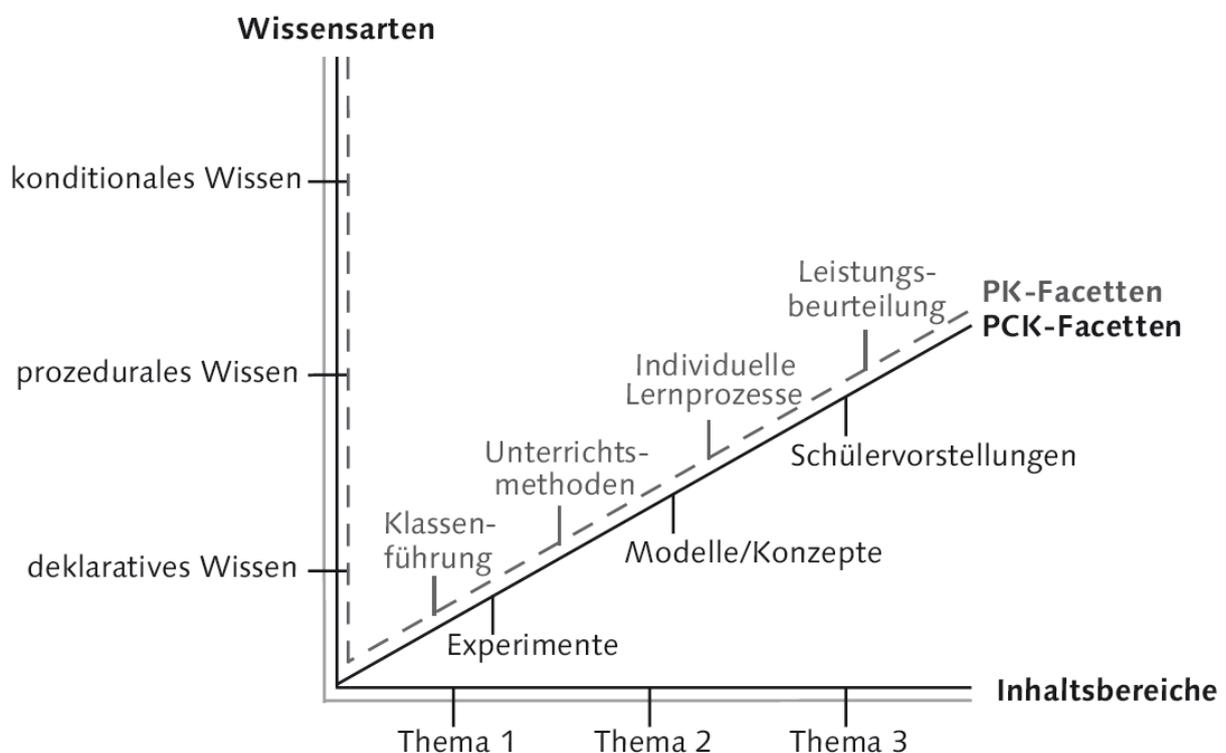


Abbildung 5: Modell zur Konzeption von Items zur Erfassung des Professionswissens¹⁹

Entsprechend der Zielsetzung der ProwiN-Studie (Borowski et al., 2010; H. E. Fischer, Borowski, & Tepner, 2012; Tepner et al., 2012) stellen die drei genannten PCK-Facetten Kernkompetenzen von Lehrkräften der Naturwissenschaften dar und eignen sich zur Operationalisierung von PCK. Damit wird ein Vergleich der naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Physik und Chemie im Rahmen von

¹⁹(Tepner et al., 2012, S. 19); Das Fachwissen ist hellgrau, das fachdidaktische Wissen ist schwarz und das pädagogische Wissen ist gestrichelt dargestellt.

Forschungsvorhaben möglich. Darüber hinaus ergeben sich aus der Feststellung dieser Kernkompetenzen aber weitere Schlussfolgerungen für die Betrachtung von Chemieunterricht: Wenn Wissen über Experimente, Modelle und Schülervorstellungen PCK-Kernkompetenzen von allen naturwissenschaftlichen Lehrkräften sind, dann impliziert dies, dass es auch **fachspezifisches didaktisches Wissen** gibt, das tatsächlich nur Chemie-Lehrkräfte haben – und Biologie- oder Physik-Lehrkräfte eben nicht. Beispielhaft sei hier die Kenntnis der genauen Lehrplanvorgaben für das Fach Chemie genannt oder die Kompetenz, einen aufwändigen chemischen Versuch vorzuführen (z. B. Springbrunnenversuch). Umgekehrt kann davon ausgegangen werden, dass das **fachdidaktische Wissen** einer Chemie-Lehrkraft mehr als nur die in der ProWiN-Studie angeführten Kernkompetenzen umfasst, denn auch im Chemieunterricht geht es, wie bereits diskutiert, nicht ausschließlich um die Vermittlung naturwissenschaftlicher Inhalte.

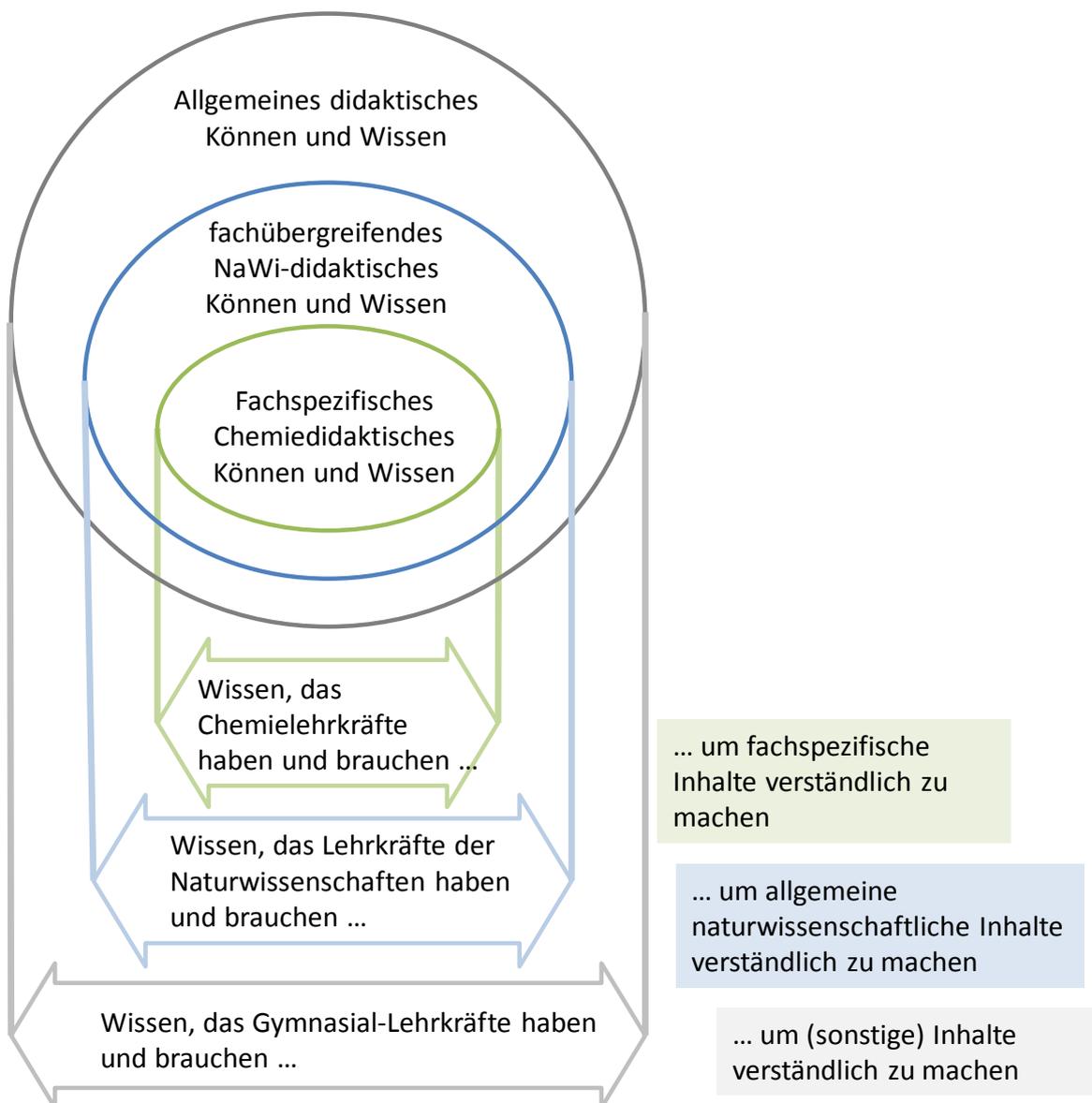


Abbildung 6: Modellierung des PCK von Chemie-Lehrkräften nach Fachspezifität

Der Chemie-Lehrplan für das Gymnasium listet eine Vielzahl fachübergreifender Lehrziele auf. Zum Fachdidaktischen Wissen einer Chemie-Lehrkraft gehört damit auch, dass sie die Bedeutung der Ozonschicht für den Planeten, die Wirkungsweise mancher Medikamente oder das Erstellen eines Graphen vermitteln kann. Darüber hinaus sehen zum Beispiel die Bildungsstandards für das Fach Chemie – wie oben ausgeführt – die Vermittlung umfangreicher Kompetenzen vor. So sollen auch im Chemieunterricht Medienkompetenz und Präsentationskompetenzen vermittelt werden. Und schließlich ist die generelle Vermittlungskompetenz einer Chemie-Lehrkraft nicht nur innerhalb des Chemieunterrichts sondern auch in außerunterrichtlichen Situationen wie Exkursionen, Projekten oder Arbeitsgemeinschaften gefordert. Die Lehrkraft muss also über ein **allgemeines didaktisches Wissen** verfügen²⁰. In Anlehnung an die oben angeführten generellen Definitionen von Baumert und Kunter sowie Borowski für PCK kann damit ein nach der Fachspezifität abgestuftes Modell des PCK von Chemielehrkräften entworfen werden, das die diskutierten Aspekte aufgreift (Abbildung 6). Daran angelehnt, wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass das PCK von Chemie-Lehrkräften fachspezifische, fachübergreifende und allgemeine didaktische Aspekte umfasst. Weiterhin ergeben sich in Anlehnung an COACTIV folgende inhaltliche **Dimensionen didaktischen Wissens von Chemie-Lehrern:**

- Wissen über **Instruktionsstrategien** und Wissen über multiple fach- und schularttypische Repräsentations- und Erklärungsmöglichkeiten für fachliche Inhalte (CK)
- Wissen über das didaktische Potenzial, die kognitiven Anforderungen und impliziten Wissensvoraussetzungen von **Experimenten** und chemischen **Modellen** bzw. Konzepten und ihre langfristige Fortentwicklung im Unterrichtsverlauf
- Wissen darüber, wie man Schüler zum Experimentieren und zum **naturwissenschaftlichen Arbeiten** anleitet und die Natur der Naturwissenschaften vermittelt.
- Wissen über **Schülervorstellungen** von Chemie (Fehlvorstellungen, Lernschwierigkeiten, Motivation und Interesse), aber auch von gymnasialtypischen sonstigen Inhalten sowie das entsprechende Faktenwissen-bezogene **Vorwissen** von Schülern
- Wissen über das Anleiten von Schülern bei der **Studien- und Berufswahl** und zum **Projektmanagement**.

²⁰Eine Abgrenzung zwischen Allgemeiner Didaktik und Fachdidaktik diskutiert zum Beispiel Roßa (2013).

- **Curriculares** Wissen (gymnasiale Lehrplanebenen und dort formulierte Lehrziele, spirallocurriculare Schwerpunkte, Bildungsstandards für das Gymnasium, Basiskonzepte für das Fach Chemie sowie Rahmenvorgaben für die bayerischen W- und P-Seminare)
- Wissen über die Vermittlung der in den curricularen Vorgaben geforderten Inhalte und allgemeinen sowie fachspezifischen **Kompetenzen** sowie konditionales und prozedurales Wissen über die praktische Umsetzung der oben genannten Punkte (*Können*).

Zum **Curricularen Wissen** (*curricular knowledge*) muss ergänzend gesagt werden, dass Shulman dieses ursprünglich auf einer Ebene mit CK und PCK gesehen und diskutiert hat und auch das Modell von Gess-Newsome (Abbildung 4) dies vorsieht. Unter Curricularem Wissen versteht Shulman nicht nur Wissen über den Lehrplan im Sinne einer rechtlichen Vorgabe, sondern sowohl das gesamte zur Verfügung stehende Unterrichtsmaterial als auch „Wissen über alternative Instruktionenwege“ für ein Thema (1986, S. 10). Er unterscheidet zwischen lateralem Curricularem Wissen und vertikalem Curricularem Wissen. Ersteres meint, dass die Lehrkraft weiß, was parallel in anderen Fächern der Klasse unterrichtet wird, Letzteres bezieht sich auf das, was in vorhergehenden und zukünftigen Unterrichtsabschnitten im eigenen Fach in einer bestimmten Klasse unterrichtet wurde. Ob zum Beispiel erst das Teilchenmodell eingeführt wurde und dann die über Gemische und Trennmethode gesprochen wird oder umgekehrt ist Wissen, das typischerweise nur Chemielehrkräfte besitzen. Nach der PCK-Definition von Borowski (s. o.) ist damit Curriculares Wissen Bestandteil des PCK einer Chemie-Lehrkraft – eine Ansicht, die z. B. auch Lee und Luft teilen (2008). Das Wissen darum, DASS es curriculare Vorgaben in Form eines Lehrplanes gibt, die rechtlich bindend für die Lehrkraft sind, wird in dieser Arbeit hingegen als Organisationswissen verstanden. Auch dieses zählen die Autoren der COACTIV-Studie, ebenso wie das Beratungswissen, zum Professionswissen von Lehrkräften.

2.4.5. Organisationswissen (OW)

„Unstrittig ist: Die Arbeit des lehrenden Personals ist in den Schulen im hohen Maße von rechtlichen Rahmenbedingungen, von den unterschiedlichsten Anforderungen an den Lehrerberuf und – wohl mehr denn je – vom Handeln der Schulleitungen bestimmt“ schreibt Klemm (2011, S. 117) und macht damit die Bedeutung der organisatorischen Struktur, in der die Lehrkraft arbeitet deutlich. Dem entsprechend muss die Lehrkraft diese organisatorischen Strukturen kennen, um darin agieren zu können – sie brauchen Organisationswissen. Die Autoren von COACTIV (Kunter et al., 2011, S. 40) zählen dazu Kenntnisse über:

- das Bildungssystem und seine Rahmenbedingungen
- Mechanismen der Steuerung, Governance und Transparenzsicherung
- Schulorganisation und Schulökonomie, die Schulverfassung, Rechtsstellung von Schülern, Eltern und Lehrkräften und Aufgaben der Schulleitung
- Schulqualität und Schuleffektivität
- Schultheorien

Auffällig ist, dass die Autoren in der gleichen Studie als Aspekt des Pädagogisch-Psychologischen Wissens PK auch die Theorie der Institution anführen. Die Abgrenzung zum letzten Punkt der oben genannten Aufstellung bleibt unscharf. Auch Shulman diskutiert im Rückblick auf seine Rede von 1996, dass der breitere soziale und kulturelle Kontext des Unterrichts berücksichtigt werden muss. Er spricht in diesem Zusammenhang von „pedagogical culture knowledge“ und „pedagogical context knowledge“ (Shulman, 2015). Eine genauere Betrachtung dessen was unter Organisationswissen von Lehrkräften zu verstehen ist, soll hier zur Klärung beitragen:

Das Konstrukt *Schule* wird im Allgemeinen als eine Organisation angesehen. „Organisationen sind soziale Systeme, die sich dadurch auszeichnen, dass hier Individuen oder Gruppen geordnet, arbeitsteilig und zielorientiert interagieren (arbeiten)“ (Böttcher & Liesegang, 2009, S. 521). Wie Merkens anmerkt, ist dies für eine Lehrkraft insofern von Bedeutung, als eine Organisation stets das individuelle Entscheidungsverhalten einschränkt, denn die Organisationen definieren Entscheidungsprogramme, um das Erreichen bestimmter Zielsetzungen sicherzustellen. „Daraus resultiert im Ergebnis eine Einschränkung individueller Spielräume bei Entscheidungen und beim Handeln der Akteure“ (Merkens, 2009, S. 543). Fend betont, dass das Handeln von Lehrkräften immer nur vor dem Hintergrund der Schule als Organisation verstanden werden kann. „Wir dürfen also bei Erklärungen des Handelns in institutionellen Kontexten nicht von handlungsblinder Kausalität ausgehen“ (Fend, 2008, S. 183). Andererseits können Lehrkräfte innerhalb der Organisation Schule nur professionell handeln, wenn sie ein entsprechendes Wissen von dieser Organisation haben. Wie sieht dieses Wissen aus? Böttcher und Liesegang kritisieren, dass es in Bezug auf Standards zum Organisationswissen von der KMK lediglich vage formulierte Kompetenzanforderungen gebe. Sie äußern „Standards, die realistisch und konkret die Profession beschreiben und die zudem praxisrelevant wären, sind bisher nicht in Sicht“ (Böttcher & Liesegang, 2009, S. 522). Dennoch kann die folgende Zusammenfassung professioneller Kompetenzen, die in Bezug auf die Organisation Schule von Lehrkräften erbracht werden müssen, einen Rahmen bieten (Dubs, 2009, S. 513):

„Als Lehrerin oder Lehrer verfüge ich über die folgenden Kompetenzen:

1. *Ich weiß, wie Kompetenzen und Verantwortung zwischen den politischen Schulbehörden, der Schulaufsicht, der Schuladministration, der Schulleitung und der Lehrerschaft verteilt sind, und welche Probleme dabei für Schulen bestehen.*

2. *Ich kenne die Organisationsinstrumente (Organigramm, Funktionsdiagramm, Stellenbeschreibung) sowie die Prozesse zur Gestaltung der Organisation einer Schule. Ich kann Schulorganisationen beurteilen sowie eigene Entwürfe für eine Organisation entwickeln.*
3. *Ich verstehe das Prinzip der Schulentwicklung und verfüge über die Fähigkeiten und Fertigkeiten, um in Steuer- und Projektgruppen aktiv mitzuarbeiten.
Ich bin in der Lage, in Gruppen mit organisationalem Lernen mitzuwirken.
Ich weiß, wie das Leadership-Konzept einer Schule aussieht und verstehe, wie Entscheidungsprozesse in einer Schule ablaufen. Ich kann die Bedeutung von Strukturen (Hierarchien) und die Regeln der Entscheidungsfindung in einer Schule differenziert beurteilen.
Ich bin mit den Techniken der Zusammenarbeit unter Lehrpersonen vertraut.“*

Unberücksichtigt bleiben in dieser Auflistung Aspekte, die über die Schule und die sie unmittelbar betreffende Verwaltungsstruktur hinausgehen. Solche Aspekte des Schulsystems führt Helmke in seinem Angebots-Nutzungs-Modell des Unterrichts unter dem Begriff *Kontext des Unterrichts* an (2010, S. 73), nämlich die kulturellen Rahmenbedingungen und das regionale Umfeld der einzelnen Schule. Für das professionelle Agieren in der Organisation Schule macht es z. B. einen großen Unterschied, ob diese im ländlichen oder städtischen Umfeld liegt und wie das Klientel der Schule in Bezug auf soziale und kulturelle Aspekte geprägt ist. Daher gehören auch diesbezügliche Kompetenzen zum professionellen Organisationswissen dazu. In Anlehnung an die Vorgaben des COACTIV-Modells, erweitert durch die zitierten Kompetenzanforderungen, lassen sich daraus fachübergreifende Aspekte von Organisationswissen formulieren, über die Gymnasiallehrkräfte für die erfolgreiche Durchführung von Seminarfächern verfügen müssen:

- Wissen über das Konzept des Kultusministeriums zur Implementierung der Seminare
- Wissen über die Intentionen der Oberstufenreform und der Einführung der Seminarfächer
- Wissen über ministeriale Rahmenvorgaben für die Organisation der Seminare²¹
- Wissen über Informationsquellen und Fortbildungsmöglichkeiten zu den Seminaren
- Wissen über die Aufgabenverteilung innerhalb der Schule in Bezug auf die Seminare
- Wissen über die rechtlichen Bestimmungen für die Durchführung der Seminare, vor allem im Kontakt mit externen Partnern und bei Veranstaltungen außerhalb der Schule.
- Wissen über die intendierte Qualität der Seminare

²¹Wissen über die Inhalte der Seminare entsprechen curricularem Wissen und gehören damit zu PCK!

Nur zu wenigen dieser Aspekte gibt es konkrete für die Lehrkräfte zugängliche Vorgaben. Das ISB formuliert: „Die Arbeit in den Seminaren wird durch wenige Bestimmungen in der GSO (Inkrafttreten zum 01.08.2008) und durch eine ergänzende KMBek geregelt“ (ISB, 2007, S. 9)²². Die Formulierung „wenige“ macht deutlich, dass ein Bewusstsein für weiteren Erklärungsbedarf zur Organisation und Struktur der Seminare zu herrschen scheint. Es wurde versucht, mit einer Broschüre des ISB sowie einer weiteren aktuellen Handreichung zu den W-Seminaren (ISB, 2011) dem entgegen zu kommen. Auf der Grundlage dieser Veröffentlichungen können für die Chemie-Seminare konkrete relevante Dimensionen von Organisationswissen formuliert werden, die die Realisierung der Seminarabläufe innerhalb des schulischen und außerschulischen Umfeldes betreffen. Sie lassen sich in folgenden Fragen zusammenfassen, die eine Chemie-Lehrkraft für die Durchführung von Seminarfächern in ihrem Fach beantworten muss:

- Wann steht wo Raum und welche Ausstattung für praktische oder experimentelle Arbeiten zur Verfügung?
- Wo kann man Apparaturen oder Modelle aufbewahren?
- Wie organisiere ich den Zugriff der Schüler auf Chemikalien?
- Wie stelle ich die Sicherheit sicher?
- Woher beziehe ich die notwendigen Geräte und Chemikalien und wie finanziere ich diese Ausstattung?
- Wie organisieren wir die Kommunikation zwischen den Teams im P-Seminar?
- Wie finanzieren wir unser Projekt?
- Welche außerschulischen Experten können wir für Berufsberatung oder fachliche Beratung heranziehen?
- Wie finden wir geeignete Kooperationspartner?
- Wie finanziere und organisiere ich die Fahrt zu außerschulischen Partnern – sowohl für die Gruppe als auch für einzelne Schüler?
- Wie organisieren wir die Kommunikation mit außerschulischen Partnern?
- Welchen Vertrag schließen wir mit dem Partner ab?

Es muss also nicht nur ein umfangreiches Organisationswissen der Lehrkraft in Bezug auf Rahmenvorgaben für die Seminare und auf innerschulische Möglichkeiten vorhanden sein. Die Lehrkraft muss darüber hinaus über außerschulisch relevante Kontexte (zur Verfügung stehenden Bibliotheken, mögliche externe Kooperationspartner, möglicherweise zu erschließende außerschulische Ressourcen) informiert sein. Im Detail kann es dabei Unterschiede für die Fächer geben, zum Beispiel in Bezug auf geeignete Kooperationspartner oder den Zugang zu fachspezifischen Geräten. Auch Infrastruktur für die Beschaffung und Entsorgung von Chemikalien dürfte nur für Lehrkräfte dieses Faches relevant sein.

Für diese Arbeit wird zusammenfassend definiert:

²²GSO = Gymnasiale Schulordnung; KMBek = Kultusministerielle Bekanntmachung

Organisationswissen ist das Wissen, das eine Lehrkraft vom *Funktionieren* des Schulsystems hat. Dies betrifft sowohl

- die Einzelschule mit ihren Institutionen (Kollegium und Fachkollegium, Schulleitung, Schulforum, Disziplinarausschuss etc.) als auch
- die Schulverwaltung (Sachaufwandsträger, Ministerialbeauftragter, Ministerium, KMK, etc.),
- den Einzugsbereich der einzelnen Schule (geographische Lage und Infrastruktur, Kooperationspartner, soziokulturelles Umfeld der Schule, außerschulische Lernorte etc.)
- sowie das Zusammenspiel der genannten Systeme in rechtlichen, finanziellen und gesellschaftspolitischen Belangen (z. B. Sachaufwandsträger, Kooperation mit Eltern, Vertragsrecht)

2.4.6. Beratungswissen (BW)

Unter Beratungswissen wird die Dimension professionellen Wissens verstanden, über die eine Lehrkraft verfügen muss, um mit Laien wie einzelnen Schülern oder Schülergruppen, Eltern oder Familien beratend kommunizieren zu können. Innerhalb des COACTIV-Modells bildet Beratungswissen eine separate Wissensdimension, weil es in der Regel um „sozial verteiltes und weitgehend fachunabhängiges Wissen“ geht, das „im Vollzug der Beratung gebündelt und adressatenspezifisch interpretiert werden muss“ (Kunter et al., 2011, S. 40). Laut dieser Definition gäbe es also kein fachtypisches, für Chemie-Lehrkräfte spezifisches Beratungswissen. Ob sich diese Annahme so halten lässt, ist Gegenstand der in Folgekapiteln beschriebenen Untersuchung. Auch die „Standards für die Lehrerbildung“ erwähnen ausdrücklich die Beratungsaufgaben der Lehrkräfte (KMK, 2004). Die in der Schule auftretenden Beratungssituationen umreißen Hertel et al. wie folgt: *„Alle Lehrer sind in ihrem Schulalltag beratend tätig, sei es am Elternsprechtag, bei Schülergesprächen in der Pause oder zu gesondert vereinbarten Terminen mit Eltern und Schülern. Sie sind Hauptträger der Beratung im Schulsystem“* (Hertel, Bruder, & Schmitz, 2009, S. 23). Beratungsanlässe können laut COACTIV-Studie die Schullaufbahnberatung oder Verhaltensprobleme sein. Hertel et al. führen darüber hinaus als klassische Beratungsanlässe im schulischen Kontext die Lernberatung, die klassische Schulberatung zu Klassenwechsel, Leistungsstand etc., die Erziehungsberatung, aber auch Beratung zum Thema Sucht an (2009, S. 25). Von den Lehrkräften – und damit auch von Chemie-Lehrern – wird also pädagogisches Wissen und Urteilsvermögen gefordert wird, das über das rein für den Unterricht Nötige klar hinausgeht. Das Modell

der Beratungskompetenz von Schwarzer und Buchwald zeigt die Vielfalt der Aspekte auf, die für eine Beratung im Schulumfeld von der Lehrkraft erbracht werden müssen (Tabelle 3). Daraus ergibt sich, dass über die in den bisherigen Kapiteln beschriebenen Dimensionen des Professionswissens (CK, PCK und PK) hinaus Beratungswissen bei den Lehrkräften vorhanden sein muss, denn bei der Beratung im schulischen Umfeld geht es im Gegensatz zum Unterricht nicht um ein *Lehren* oder *Anleiten zum Lernen*.

Tabelle 3: Aspekte der Beratungskompetenz (zitiert nach Hertel, S. 43)

Fachwissen	Personale Ressourcen	Soziale Kompetenz	Berater-Skills	Bewältigungs-kompetenz	Prozess-kompetenz
Theorien Modelle Empirische Erkenntnisse	Persönlichkeit Beratungskonzept Erfahrung Reflexion	Vertrauen Soziales Fingerspitzengefühl Kommunikative Sensibilität	Empathie Herausarbeiten des Problems Zielerklärung Gesprächstechniken Gesprächsstrukturierung	Konstruktiver Umgang mit Spannungen und Konflikten	Gestaltung des Beratungsvorgangs: - Auftauen - Ändern - Stabilisierung

Eine schulische Beratung ist „nach dem professionellen Verständnis nicht mit Ratgeben“ gleichzusetzen sondern als „Hilfe zur Selbsthilfe“ zu verstehen. Dabei sind zentrale Komponenten der Beratungssituation das Gegenüber eines Beraters und eines Ratsuchenden. Diese versuchen, innerhalb eines bestimmten Beratungskontext gemeinsam ein Problem zu lösen (Hertel et al., 2009, S. 35). Dieser Beratung können vier Axiome zugrunde gelegt werden:

- die Freiwilligkeit, mit der der Ratsuchende sich für die Wahl des Beraters und die Fortführung oder das Abbrechen der Beratung entscheidet,
- die Unabhängigkeit, die der Berater von den Einflüssen des Umfeldes (zum Beispiel der Schulleitung) haben sollte,
- die Vertraulichkeit als Voraussetzung für ein Vertrauensverhältnis in der Beratungssituation und
- die Professionalität mit der die Beratung stattfindet (Honal und Schlegel (2002) nach Hertel et al.).

All diese Axiome von Beratung sollten von der Lehrkraft im professionellen Beratungsverhältnis berücksichtigt und sichergestellt werden. Dennoch wird es immer Situationen geben, in denen die Lehrkraft nicht mehr der richtige Ansprechpartner ist: Kunter et al. gehen davon aus, dass bei diesen Beratungssituationen auch Themen

angesprochen werden, die über die schulischen Bereiche hinausgehen, sodass in der Regel weitere Experten über die Lehrkraft hinaus aufgesucht werden.

Für die vorliegende Fragestellung scheint die Dimension des Beratungswissens von Lehrkräften deshalb von Bedeutung, weil ein Kernanliegen der P-Seminare die Hinführung zu einer Berufswahl- und Berufsweltkompetenz und damit eine Laufbahnberatung im weitesten Sinne ist. Auch für W-Seminare ist die individuelle Beratung der Schüler bei ihrem Forschungsvorhaben ausdrücklich vorgesehen. Inwieweit die von COACTIV definierte Dimension *Beratungswissen* hierfür ausreichend ist, ist daher Gegenstand der im Weiteren beschriebenen Untersuchung. Hierfür soll die nicht sehr spezifische Definition des COACTIV-Studie entsprechend oben zitierter Literatur erweitert:

Beratungswissen ist von einer Lehrkraft gefordert, wenn

- Es um eine Situation geht, bei der die Lehrkraft (Berater) und ein Schüler oder eine kleine Schülergruppe (Ratsuchende/r) im **persönlichen** Gespräch über ein Problem und Strategien zu seiner Lösung sprechen. Dabei geht es um ein **individuelles Problem**, das nur diesen Schüler betrifft und bei dem der Lehrer den Schüler **längerfristig** begleitet, wie zum Beispiel eine individuelle Seminararbeit oder Belange der Berufs- oder Studienwahl.

Abgrenzung zu PK:

- Beratungswissen ist NICHT nötig, wenn es um ein *normales* Unterrichtsgespräch mit einem oder mehreren Schülern geht.
- Beratungswissen ist NICHT gefordert, wenn die Lehrkraft die Schüler in einem Projekt anleitet.

Inwiefern das beschriebene Professionswissen von Chemie-Lehrkräften für die Durchführung von Chemie-Seminarfächern gebraucht wird, soll im Folgenden untersucht werden. Hierfür ist zunächst eine Beschreibung des konkreten Untersuchungsrahmens notwendig. Deshalb werden im folgenden Kapitel die Konzeption der Seminarfächer, der bisherige Forschungsstand sowie zentrale Inhalte der Seminarfächer umrissen.

3. Die Seminare in der bayerischen Oberstufe – Forschungsstand, Rahmenvorgaben und Inhalte

Die Idee einer von Schülern selbst durchzuführenden wissenschaftlichen Untersuchung, die abschließend schriftlich dokumentiert wird, findet sich international in vielen Schulsystemen. Als Beispiele seien „High School Science Research Classes“ in den USA (Donley, 2011), die vorwissenschaftliche Arbeit zum Erlangen der Matura in Österreich (Österreichisches Bundesministerium für Unterricht, 2012) oder die so genannte *Profilarbeit* in den Niederlanden (Coenders, van Haren, de Beurs, & Gröger, 2002) genannt. In Deutschland wurde ein derartiger wissenschaftspropädeutischer Ansatz bisher mit den Facharbeiten im Rahmen der Leistungskurse verfolgt. Das Verfassen einer schriftlichen wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen eines Seminarfachs wurde zuerst in Thüringen im Jahr 1999 (Bosse, 2014; Gröger, Scharf, & Schmitz, 2002) eingeführt. Baden-Württemberg folgte 2002 mit den so genannten *Seminarkursen*, die als freiwillige Zusatzleistung innerhalb der Oberstufe gewählt werden (Mayer, 2012) und eine mündliche Abiturprüfung ersetzen können. Auch in Niedersachsen und im Saarland ist jeweils ein Seminarfach für die Oberstufe vorgesehen. Berlin und Brandenburg haben sich am Konzept Bayerns orientiert und sehen seit dem Schuljahr 2012/13 Seminarkurse vor (Angerer, Hamann, Rauhut, Siehr, & Stark, 2012).

Tabelle 4: Übersicht über Seminarfächer und -kurse in den Bundesländern

Bundesland	Name	Pflicht/Wahl
Baden-Württemberg	Seminarkurs	Wahlbereich (eine von drei Optionen)
Bayern	W-Seminar und P-Seminar	Pflicht
Berlin / Brandenburg	Seminarkurs für Wissenschaftspropädeutik oder Seminarfach zur Studien- und Berufsorientierung	Pflicht
Niedersachsen	Seminarfach (geknüpft an einen LK)	Pflicht
Saarland	Seminarfach	verpflichtend, Seminararbeit fakultativ
Thüringen	Seminarfach	Pflicht

Alle diese Seminarfächer und -kurse haben eine schriftliche wissenschaftliche Abschlussarbeit zum Ziel. Neben dem wissenschaftspropädeutischen Aspekt werden in einer Handreichung des Ministeriums für Bildung und Kultur des Saarlandes (2010) die Verbesserung der allgemeinen Studierfähigkeit und die Vorbereitung auf die Berufs- und Arbeitswelt als Ziele genannt. Weiterhin listet die Handreichung eine Reihe von anzustrebenden Kompetenzen wie fachbezogene und fächerübergreifende Methoden und Arbeitstechniken oder problem- und handlungsorientierte Lernkompetenzen auf. Analoge Formulierungen finden sich in den Handreichungen aller genannten Bundesländer zum Seminarfach bzw. -kurs. So definiert die Thüringer

Schulordnung als Ziel der Bemühungen im Seminarfach die Anleitung zu selbständigem Lernen und wissenschaftlichem Arbeiten, das Initiieren von problembezogenem Denken und das Trainieren von Kommunikations- und Teamfähigkeit (nach: Schenk & Wille, 2003). Inwieweit diese Ziele im Rahmen des Seminarfachs in Thüringen erreicht werden können wurde in verschiedenen Studien untersucht. Ähnlichen Fragen ging im Rahmen der TOSCA-Studie das Max-Planck-Institut für Bildungsforschung für das Land Baden-Württemberg nach. Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die Erkenntnisse aus den erwähnten Studien gegeben werden:

3.1. Forschungsstand zum Thema Seminarfächer

Die KMK ermöglichte durch ihren Beschluss zur Neugestaltung der gymnasialen Oberstufe 1997 die Einführung einer „besonderen Lernleistung“, die wahlweise die Teilnahme an einem Wettbewerb, die Ergebnisse eines Projektes oder Praktikums oder eine Jahres- oder Seminararbeit sein konnte. Dabei legte die KMK fest, dass die besondere Lernleistung schriftlich zu dokumentieren ist (KMK, 2006, S. 10). In seinem Artikel „Die »Seminarfächerarbeit« an Thüringer Gymnasien – ein Beispiel für eine langfristig vorbereitete »besondere Lernleistung«“ beschreibt Gröger (2002) die auf die KMK-Beschlüsse folgende Genese des Konzeptes *Seminarfach* in Thüringen. Dieses wurde von Klasse 10 bis zum Abitur verbindlich eingeführt, um eine verbesserte Studierfähigkeit über gezieltes Methodentraining und das Anfertigen und Präsentieren einer Facharbeit zu erreichen.

In ersten Studien verglichen Gröger, Scharf und Schmitz (2002; J. Schmitz, 2003) Abiturienten mit und ohne Seminarfach. Über wissensbasierte Items wurde versucht darzustellen, inwieweit sich die neue Lernumgebung *Seminarfach* auf die Ausprägung von fächerübergreifenden Kompetenzen im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich ausgewirkt hat. Die Ergebnisse zeigen, dass die Abiturienten mit Seminarfach signifikant besser abschnitten als die Schüler, die den *normalen* Oberstufenunterricht besucht hatten. Weiterhin identifizieren die Autoren bereits Bereiche, in denen Schwierigkeiten auftreten. Hierzu gehören z. B. die Themenfindung und die *Konsumentenhaltung* der Schüler (Gröger, 2003).

Die Feldstudie von Schenk (2005) zum neu eingeführten Seminarfach in Thüringen vertieft diese Erkenntnisse. Nach dieser Erhebung wünschten die meisten Lehrer und Schüler eine Beibehaltung des Seminarfaches, was von Schenk als grundlegende Akzeptanz interpretiert wird. Die Lehrkräfte sähen das Seminarfach für sich eher als Gewinn für ihre Arbeit an, wobei sie mit 93% angeben, die Methoden der traditionellen Fächer auch im Seminarfach einzusetzen. Andererseits zeigen die Daten nach Schenk, dass die Lehrkräfte das Seminarfach als besonders wertvoll für die Vorbereitung auf das Abitur, das Studium und die Berufsausbildung sehen und der Meinung sind, dass

die Persönlichkeitsentwicklung der Schüler und die Vertiefung ihrer Methodenkenntnis durch das Seminarfach besonders gefördert werden. Die Schüler werten das Seminarfach vor allem als hilfreich für die Vorbereitung auf Studium und Berufsausbildung. 43% der befragten Schüler kritisieren hingegen den Prozess der Erstellung der Seminarfacharbeit, was Schenck auf die Konsultationen zurückführt, die die Erwartungen der Schüler nicht erfüllt hätten. Zusammenfassend formuliert Schenck, dass der Erwerb einer breiten Allgemeinbildung und eine grundlegende Studierfähigkeit durch die Seminarfächer erreicht wird und die Akzeptanz dieser Fächer in Thüringen groß sei (Schenk, 2005, S. 184).

Ähnliche Ergebnisse stellen Trautwein, Neumann, Nagy, Lüdtke und Maaz (2010, S. 256-258) aus der TOSCA-Studie in Baden-Württemberg vor: Die Schüler bewerten als besonders positiv die Möglichkeit, im Seminarkurs selbstständig zu arbeiten und dafür auch ausreichend Zeit zur Verfügung zu haben. Weiterhin geben die Schüler an, dass sie insbesondere Selbstständigkeit, die Fähigkeit, Informationen zu beschaffen, auszuwählen und zu strukturieren und die Resultate zu präsentieren im Seminarkurs erlernt bzw. weiterentwickelt haben. Auch diese Studie kommt abschließend zu dem Ergebnis, dass „die Teilnahme an einem Seminarkurs nach Ansicht der Schülerinnen und Schüler die Entwicklung verschiedener, aus wissenschaftspropädeutischer Sicht bedeutsame Fähigkeiten durchaus gefördert hat“.

Die Erkenntnisse aus Thüringen sowie Erfahrungen mit dem Seminarkurs aus Baden-Württemberg flossen in die Konzeption der Seminarfächer in Bayern ein (Manhardt, 2010).

3.2. Die Seminarfächer in Bayern

Im Unterschied zu Thüringen und Baden-Württemberg gibt es in Bayern zwei verschiedene Typen von Seminarfächern: Das wissenschaftspropädeutische W-Seminar und das projektorientierte P-Seminar. Während in den anderen Bundesländern sowohl die Studien- als auch die Berufsvorbereitung Ziel des einen Seminarfaches bzw. -kurses sind, gibt es in Bayern für jede dieser Aufgaben ein eigenes Seminar.

Rahmenvorgaben und erste Daten seit dem Jahr 2007

Organisatorisch wählen die Schüler der 10. Jahrgangsstufe im Laufe des Schuljahres zunächst aus dem individuellen Angebot ihres Gymnasiums verpflichtend je ein W- und ein P-Seminar aus. Dabei organisieren die Schulen die Zuteilung der Schüler zu den gewählten Seminaren unterschiedlich. Am häufigsten sind Verfahren, bei denen die Schüler eine Erstwahl und eine Zweitwahl angeben und danach die Verteilung der zukünftigen Oberstufenschüler in die Seminare erfolgt. Es sind aber auch Einzelfälle bekannt, in denen Schüler in ein Chemie-Seminar eingeteilt wurden, ohne dieses

gewählt zu haben, weil die Wunschseminare überfüllt waren. Angesichts dessen, dass die Seminararbeit viel Engagement fordert und maßgeblich in die Abiturnote einfließt, scheint eine zwangsweise Einteilung in ein W-Seminar Chemie in Bezug auf Motivation und Bildungsgerechtigkeit fragwürdig. Die Seminare sind einem Leitfach zugeordnet und werden in der Regel von einer Lehrkraft in diesem Fach betreut. Möglich sind aber auch ein fächerübergreifendes Konzept und die Betreuung durch zwei Fachkollegen. Hier deutet sich an, dass diese Seminarfächer grundlegend anders konzipiert sind, als der *normale* Fachunterricht (siehe auch Bosse, 2014, S. 91). Wichtige Kernpunkte sind:

- Es gibt keinen Lehrplan für die Seminarfächer – lediglich Zielvorgaben, die in einer Broschüre zusammengefasst sind (ISB, 2007).
- Die Seminare dauern drei Semester, finden also in 11.1, 11.2 und 12.1 statt.
- Die Lehrkräfte schreiben die Seminare aus und sind dabei in ihrer Themenwahl grundsätzlich frei, wobei die Schulleitung ihre Genehmigung geben muss. Lediglich die Themen des Oberstufenlehrplans sollten nicht maßgeblicher Inhalt der Seminare sein.
- Für die Seminare sind in der Stundentafel je zwei Wochenstunden vorgesehen – meist liegen sie an den Randstunden. Den Lehrkräften ist aber freigestellt, die Seminare zu anderen, mit den Schülern abgesprochenen Terminen stattfinden und dem entsprechend die regulären Stunden ausfallen zu lassen. Eine Blockveranstaltung am Wochenende oder in den Ferien, eine ganztägige Exkursion oder auch Phasen der individuellen Arbeit sind damit möglich, solange das geforderte Stundenkontingent erfüllt wird (P-Seminar-Gesamtdokument, ISB).
- Die Zusammenarbeit mit einem externen Partner ist für beide Seminartypen ausdrücklich gewünscht.
- Die Seminare werden mit maximal 15 (W) bzw. 18 (P) Schülern durchgeführt (W. Habelitz-Tkotz & Hörnig, 2011, S. 5).
- Es gibt eine pauschale Geldsumme von 300.- Euro, die pro Seminar beantragt werden kann. Diese darf ausschließlich für die Bezahlung von Referenten ausgeben werden (P-Seminar-Gesamtdokument, ISB).

Mit dem W-Seminar stehen für die Anfertigung einer wissenschaftspropädeutischen Arbeit, die früher als Facharbeit parallel zum Leistungskurs außerhalb des Unterrichts angefertigt wurde, nun ausdrücklich Zeit und Betreuungsmöglichkeiten zur Verfügung. Mit dem P-Seminar hält die Studien- und Berufswahlberatung als neuer Inhalt Einzug in den gymnasialen Fächerkanon. Während eine solche Beratung bisher durch Berufsberatungslehrkräfte geleistet wurde, die Schüler das Angebot allerdings selten in Anspruch nahmen (H. Schmitz et al., 2005), ist die individuelle Orientierung über die eigene Zukunft nun Pflicht. Zusätzlich sollen die Schüler mit dem Projektmanagement und der gemeinsamen Arbeit am Projekt wichtige und für viele Berufe typische Arbeitsweisen und -methoden kennen. Grundsätzlich ist es begrüßenswert, dass der Seminararbeit und damit einer Wissenschaftspropädeutik mit dem W-Seminar mehr Zeit eingeräumt wird. Angesichts der etablierten Facharbeit ist zunächst von einer problemlosen Umsetzung durch die Lehrkräfte auszugehen.

Auch eine gezielte Beschäftigung mit Fragen der Berufswahl scheint sinnvoll. Ob diese aber erfolgreich im Rahmen eines gymnasialen Seminarfaches durch Fachlehrkräfte umgesetzt werden kann und ob Chemie-Lehrkräfte Projektmanagement unterrichten können, muss kritisch hinterfragt werden. Das Kultusministerium nennt über die Wissenschaftspropädeutik und Berufsorientierung hinaus vier zentrale Anliegen der beiden Seminare (ISB, 2007, S. 6-7):

- Die Seminare sollen helfen, in jedem Fach ein zentrales Grundwissen zu sichern.
- Neben diesem Grundwissen soll Fachkompetenz, Methodenkompetenz, Selbstkompetenz und Sozialkompetenz erworben werden.
- Um diese Kompetenzen nachhaltig zu erreichen, muss der Unterricht im Seminarfach handlungsorientiert sein.
- Interdisziplinäres Denken, wie es im Beruf gefordert ist, muss schon in der Schule eingeübt werden.

Um diese Schwerpunkte optimal innerhalb der Seminarfächer verwirklichen zu können, soll den Schulen eine möglichst große Gestaltungsfreiheit zugestanden werden – zum Beispiel durch eine vielfältige Auswahl an angebotenen Seminarthemen. Nach einer ersten Erhebung des ISB in den Jahren 2009-2011 trug das Fach Chemie von allen naturwissenschaftlichen Fächer am seltensten zu dieser Vielfalt bei (Tabelle 5): In etwa der Hälfte der Gymnasien wurde ein W-Seminar Chemie angeboten, in nur einem Drittel ein P-Seminar (Reinold, 2011). Damit bleiben die W- und P-Seminare in Bezug auf das Fach Chemie vermutlich weit hinter den Möglichkeiten zurück.

	Chemie	Physik	Biologie	Geographie
W-Seminar	52%	69%	72%	67%
P-Seminar	34%	62%	51%	51%

Tabelle 5: Anteil der Gymnasien, die in den Jahren 2009-2011 naturwissenschaftliche Seminare angeboten haben. Nach (Reinold, 2011)

Es stellt sich die Frage nach den Ursachen, denn Habelitz-Tkotz und Hörnig stellen fest, dass angebotene Chemie-Seminare als sehr attraktiv empfunden werden, da der mögliche experimentelle Anteil eine größere Vielfalt an Methoden eröffne, als dies in anderen Fächern der Fall ist (2011, S. 6). Fehlendes Schülerinteresse käme also als Ursache nicht in Betracht. Stattdessen kommen einerseits verwaltungstechnische Gründe in Frage – gerade in den letzten Jahren wurden in Ermangelung einer ausreichenden Zahl von Chemie-Fachlehrern die Stunden der Lehrkräfte vor allem für den regulären Unterricht benötigt. Möglich ist andererseits, dass Chemie-Lehrkräfte grundsätzlich seltener Seminare anbieten, als ihre Kollegen aus den anderen Naturwissenschaften. In letzterem Fall bliebe wiederum die Frage nach der Ursache für diese Haltung, denn, so stellt Wambach-Laicher fest, die bisher üblichen Facharbeiten mussten von den Lehrkräften ohne gesondert dafür vorgesehene Zeit bewältigt werden, während durch die Seminarfächer nun explizit Zeit für

Experimentelles vorgesehen ist (2011). Zeitlich zu knappe Rahmenvorgaben sollten also keine Ursache sein. Untersuchungen von Stolzenberger weisen darauf hin, dass für den Erfolg eines Seminars – vor allem in Bezug auf das Interesse der Schüler – die persönliche Haltung der Lehrkraft relevant ist (2014, S. 158). Damit rückt die Perspektive der unterrichtenden Lehrkraft in den Fokus, die in dieser Arbeit genauer untersucht werden soll.

Perzeption der Lehrkräfte

Über die Wahrnehmung der bayerischen Seminarfächer insgesamt könnte eine Online-Erhebung des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus (KM) bei Schülern, Lehrkräften und externen Partnern an 35 Gymnasien in Bayern sowie unter allen bayerischen Gymnasial-Direktoren Auskunft geben (Vogt & Gottfried, 2011). Kritisch anzumerken ist allerdings, dass keine konkreten Zahlen veröffentlicht wurden, sondern nur eine allgemein gehaltene PowerPoint-Präsentation zugänglich ist. Daraus ergeben sich folgende Erkenntnisse:

Übernahme eines Seminars

Einerseits ist die Motivation der Lehrkräfte, ein Seminar zu übernehmen, nach Einschätzung der Schulleiter generell hoch. Andererseits äußert ein Viertel der Schulleiter, dass die Hälfte ihres Kollegiums nicht bereit sei, ein P-Seminar durchzuführen. Als Ursache hierfür geben sie Unsicherheit mit Projektmanagement und Berufs- und Studienberatung an. Weiterhin geben Teilzeitkräfte unter den Lehrern an, dass der Nachmittagsunterricht ein Hindernis für die Bereitschaft zur Übernahme eines W-Seminars sei. Auch die hohe Arbeitsbelastung mit Vorbereitung und Korrektur wurden genannt (Vogt & Gottfried, 2011). Unter den Lehrkräften, die gleich in den ersten Jahren ein Chemie-Seminar übernommen haben, scheint eine sehr positive Einschätzung zu überwiegen. Habelitz-Tkotz und Hörnig heben heraus, dass die Lehrkräfte die zusätzliche Belastung gern zugunsten neuer pädagogischer Möglichkeiten und Freiheiten in Kauf nehmen (2011, S. 6).

Organisation

Die zeitliche Belastung durch die Seminare empfinden die Lehrkräfte als angemessen – sowohl für die Betreuung, Erstellung und Präsentation der Seminararbeit im W-Seminar als auch für die Realisierung des Projektes im P-Seminar. Bei 15% der Projekte konnte das Ziel nicht vollständig realisiert werden, wofür eine mangelhafte Zeitplanung, die Fehleinschätzung der Kompetenzen der Schüler oder fehlende Sponsoren als Ursachen genannt wurden. Die Kooperation mit externen Partnern fand in den P-Seminaren mit sehr unterschiedlicher Intensität statt. In 49% der Fälle waren die externen Partner Unternehmen oder Freiberufler, die als Coach oder Berater fungierten. Die Hälfte der W-Seminare pflegte nach Angaben der ISB-Studie Kontakt zu universitären Einrichtungen, wobei allgemeine Informationsveranstaltungen,

Beratung durch Fachleute und der Besuch der Universitätsbibliothek im Vordergrund standen. Grundsätzlich wird der Wunsch nach einer Vereinfachung der Verwaltung der finanziellen Seminarpauschale geäußert. Insgesamt kritisieren die Lehrkräfte besonders eine unzureichende Unterstützung bei der Einführung der Seminare durch schulinterne Maßnahmen. (Vogt & Gottfried, 2011)

Qualifikation und Fortbildungsbedarf

Während nach Angaben der Schulleiter Unsicherheiten bei den Lehrkräften in Bezug auf die Inhalte des P-Seminars bestehen (s.o.), fühlten sich die Lehrkräfte für die W-Seminare in Bezug auf die fachlichen Inhalte hoch qualifiziert. Am wenigstens qualifiziert empfanden sich die W-Seminarlehrer im Hinblick auf die Wissenschaftspropädeutik, wobei diese Aussage die Meinung der Lehrkräfte aller Fächer widerspiegelt, nicht nur die der Naturwissenschaftler. Nach eigener Einschätzung der Lehrkräfte besteht also ein hoher Qualifizierungsbedarf in den Bereichen Berufs- und Studienvorbereitung sowie Wissenschaftspropädeutik. (Vogt & Gottfried, 2011)

Wahlverhalten der Schüler

Hierzu wurden vom KM bislang lediglich Daten zur Belegung der Seminare im Jahrgang 2011-13 differenziert nach Fächern veröffentlicht. Danach wählten 4,6% der Schüler ein P-Seminar Chemie und 6,3% ein W-Seminar (ISB, 2013a, 2013b). Aufgrund der intransparenten Erhebungs- und Auswertungsmodi ist eine interpretative Aussage dieser Angaben nicht möglich.

Weitere Daten, die im Rahmen einer Zulassungsarbeit an der LMU München zum Wahlverhalten bei W-Seminaren im Fach Chemie erhoben wurden zeigen keinen Zusammenhang zwischen der Zeugnisnote im Fach Chemie und der Belegung eines W-Seminars mit Leitfach Chemie (Karmann & Riederer, 2011). Eigene Daten, erhoben von Gymnasiasten im Rahmen verschiedener Veranstaltungen an der Fakultät (siehe Kapitel 6), zeigen ein differenzierteres Bild in Bezug auf das Wahlverhalten und spiegeln Determinanten der Fächerwahl, wie sie aus der Literatur bekannt sind (Hülsmann & Walpuski, 2013). Bei insgesamt 12 Veranstaltungen mit insgesamt N=278 Schülern aus W-Seminaren wurde per Fragebogen nach dem Grund für die Wahl des jeweiligen Seminars gefragt. Die Liste der möglichen Multiple-Choice-Antworten war durch offene Fragen bei zwei Vor-Veranstaltungen ermittelt worden. Die genannten Gründe sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Es wird deutlich, dass die Schüler sich primär am Thema orientieren und weiterhin am Fach und an der durchführenden Lehrkraft. Die Eltern scheinen keinen oder nur sehr geringen Einfluss auf die Wahl der W- und P-Seminare zu nehmen. Das Interesse am Fach Chemie steht bei der Hälfte der befragten Schüler im Vordergrund, während die Aussicht auf eine eventuelle gute Note für die Wahlentscheidung keine Rolle spielte. Damit scheint das Format des W-Seminars geeignet zu sein, um gerade die an Chemie interessierten

Schüler für das Fach zu gewinnen. Die Möglichkeit zum praktischen Experimentieren könnte hierbei ebenfalls eine Rolle spielen.

Tabelle 6: Gründe für die Wahl von W-Seminaren (2010-2013)

<i>Ich habe dieses W-Seminar gewählt, weil ...</i>	%
das Thema interessant war	68
mein Freund / meine Freundin auch dieses Seminar gewählt hat	7,9
ich mich für Chemie interessiere	52,9
der Lehrer / die Lehrerin toll ist	31,7
ich gut in Chemie bin	16,5
ich gerne mehr experimentieren wollte	17,6
es keine andere Möglichkeit gab	19,4
meine Eltern so entschieden haben	2,2
ich habe es nicht gewählt, ich wurde „hinein gesteckt“	9,7
ich später Chemie studieren will	18
man leicht gute Noten bekommen kann	3,2
ich gern experimentieren wollte	22,3

Perzeption der Eltern

Die Landes-Eltern-Vereinigung für die Gymnasien in Bayern (LEV) hat in einer repräsentativen Umfrage in Bayern (N=20.757) in den Jahren 2012/13 Eltern auch nach ihrer Meinung zu den Seminarfächern gefragt. Während mit etwa 70% die Mehrzahl der Meinung sind, dass W-Seminare das wissenschaftliche Arbeiten unterstützen (Abbildung 7), sehen sie die Effekte der P-Seminare eher kritisch: Besonders für die 12. Jahrgangsstufe sind über 40% der Eltern der Meinung, dass die P-Seminare die Berufsorientierung ihrer Kinder in keiner Weise unterstützen (Abbildung 8), womit ein zentrales Ziel dieser Seminare nicht erreicht würde.

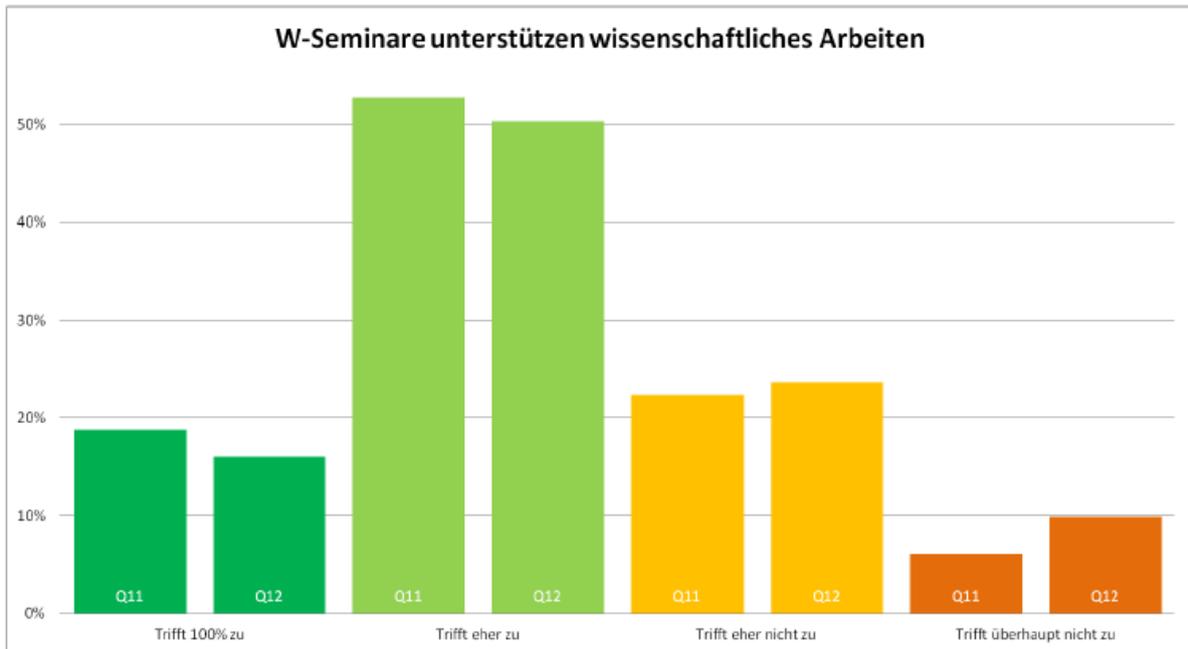


Abbildung 7: Meinung der Eltern zu W-Seminaren (Helmbrecht, 2013)²³

²³Skala von links nach rechts: „Trifft 100% zu, Trifft eher zu, Trifft eher nicht zu, Trifft überhaupt nicht zu“. Linke Säule jeweils Angaben für Q11, rechte Säule für Q12.

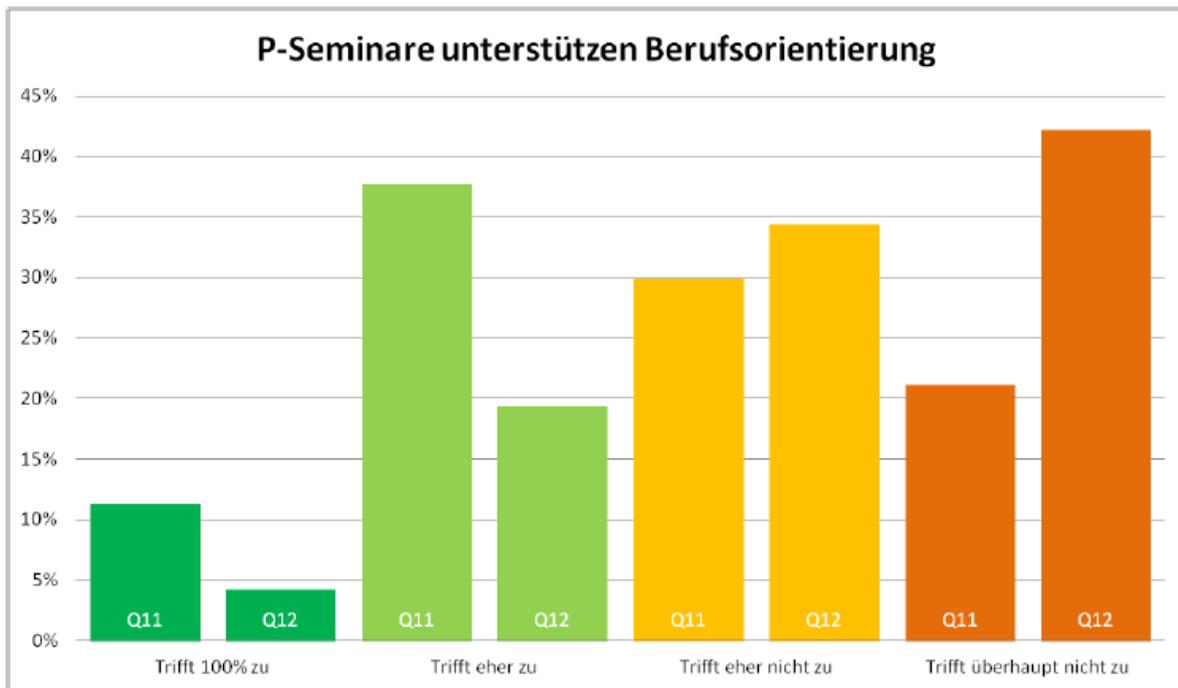


Abbildung 8: Meinung der Eltern zu P-Seminaren (Helmbrecht, 2013)²⁴

²⁴Skala von links nach rechts: „Trifft 100% zu, Trifft eher zu, Trifft eher nicht zu, Trifft überhaupt nicht zu“. Linke Säule jeweils Angaben für Q11, rechte Säule für Q12.

3.3. Das W-Seminar

Für das Wissenschaftspropädeutische Seminar ist folgender zeitlicher Ablauf vorgesehen (Tabelle 7):

Tabelle 7: Ablauf des W-Seminars²⁵

Zeitpunkt	Inhalt
10.1	Wahl durch die Schüler aus dem Angebot der Schule
11.1	Input, Einführung ins wissenschaftliche Arbeiten, Themenfindung, erste Recherchen
11.2	Eigentätigkeit der Schüler, Vorlage von Zwischenergebnissen und Besprechungen in der Gruppe, Beratung durch die Lehrkraft
12.1	Anfang Nov.: Abgabe der Seminararbeiten, Nov., Dez., Jan.: Präsentationen

Die Lehrkräfte müssen also bereits ein Jahr vor Beginn des Seminars das Thema festlegen und in einer Ausschreibung darstellen. Aus den Vorschlägen der Lehrkräfte wählt das Direktorat die aus, die den Schüler tatsächlich zur Auswahl angeboten werden. Für die **Input-Phase** sieht das ISB eine fachliche Einführung in das Rahmenthema vor. Da es für die Schüler keine Verpflichtung gibt, parallel zum W-Seminar den Oberstufenkurs im entsprechenden Fach zu belegen, kann lediglich auf fachliche Inhalte der Mittelstufe zurückgegriffen werden. Die fachwissenschaftliche Tiefe und Breite der Leistungskurse ist damit nicht erreichbar. Innerhalb des ersten Semesters sollen die Schüler weiterhin auf das wissenschaftliche Arbeiten vorbereitet werden, sodass sie am Ende dieses ersten Halbjahres ihr **individuelles Thema** festlegen können. Die individuellen Seminararbeitsthemen sollen sich einerseits in dem durch das Seminarthema vorgegebenen Rahmen bewegen (z. B. „Lebensmittelanalytik“) und andererseits so eng gefasst sein, dass die Erläuterung von fachlichen Hintergründen, Fragestellung, experimenteller Überprüfung, Darstellung der Ergebnisse und Diskussion innerhalb von 15 Seiten in der Seminararbeit zu leisten ist (Bsp.: „Wächst der Oxalsäuregehalt von Rhabarber tatsächlich im Laufe des Sommers?“). Im Laufe des zweiten Halbjahres der 11. Jahrgangsstufe soll dann die eigentliche Rechercharbeit und Datensammlung bzw. experimentelle Durchführung erfolgen, und zwar möglichst eigenständig. Aufgabe der Lehrkraft ist die Begleitung und Beratung der Schüler bei ihren individuellen Forschungsvorhaben. Ausdrücklich sind hierfür Einzelgespräche vorgesehen (ISB, 2007, S. 16). Im letzten Semester werden Recherche und Experimente abgeschlossen und die Arbeit verfasst, sodass sie

²⁵(ISB, 2007, S. 15)

in der ersten Woche nach den Herbstferien abgegeben werden kann. Die **Abschlusspräsentationen** erfolgen noch im Halbjahr 12.1.

Abgesehen von der Seminararbeit und deren Präsentation, die als eigene Leistung ins Abiturzeugnis eingehen, können die Schüler ihre Punkte aus 11.1 und 11.2 als Halbjahresleistungen in das **Abiturzeugnis** einbringen (jeweils maximal 15). In jedem dieser Semester muss die Lehrkraft mindestens zwei kleine Leistungsnachweise pro Schüler erheben, wobei sie schon vor Beginn des W-Seminars festlegen muss, in welcher Form und Anzahl diese Leistungen zu erbringen sind. Eine „zu häufige Prüfungssituation“ ist dabei zu vermeiden, da der Schwerpunkt auf methodischem Kompetenzerwerb liegen soll (ISB, 2007, S. 19). Zu diesen Kompetenzen gehören umfangreiche fachspezifische und fachmethodische Kenntnisse, experimentelle Fertigkeiten sowie die Fähigkeit, die gewonnenen Erkenntnisse schriftlich und verbal zu präsentieren. Das Ganze soll eingebunden sein in ein generelles Verständnis davon, wie Naturwissenschaften *funktionieren*. Hierzu ist, wie der Name des Seminars es andeutet, eine solide wissenschaftspropädeutische Vorbildung notwendig.

Wissenschaftspropädeutik

Die Naturwissenschaft im modernen Sinn entstand mit der Aufklärung und seit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert wuchs ihre Bedeutung für die Gesellschaft immer mehr an. 1958 forderte ein Bildungs-Bericht des Rockefeller Brothers Fund in den USA „so we must see to it that every educated person be literate in science“ (nach DeBoer, 2000, S. 586). Die Forderung nach einer umfassenden naturwissenschaftlichen Grundbildung für alle („Scientific Literacy“) führte zum Eingang des Themas in die Schulen. Neben der Zielsetzung, auf diese Weise die Mündigkeit der Bürger in einer technologisierten Demokratie sicherzustellen (*Scientific Literacy* im weiteren Sinne), kam für das Gymnasium das Ziel der Vorbereitung auf die universitäre Ausbildung hinzu. Nach Boggasch (2011, S. 16) findet sich der Begriff der *Wissenschaftspropädeutik* in diesem Zusammenhang erstmals 1959 bei Flitner. Spätestens in Schriften der lerntheoretischen Didaktik der 1970er Jahre wird deutlich, dass schon vor 45 Jahren ein Bewusstsein der Schüler für naturwissenschaftliche Erkenntnisprozesse erzielt werden sollte, damit diese die gesellschaftlichen Probleme in einer im wachsenden Maß technologisch geprägten Welt beurteilen und damit am Demokratieprozess teilnehmen können (siehe z. B. Franzen, 1975). Höble, Höttecke und Kircher zeigen auf, dass dieses Ziel der „Wissenschaftsorientierung des Lernens“ bis heute nicht durchgängig erreicht wird. Sie zitieren Langlet und Umbreit, nach denen wissenschaftliches Handeln und Wissen im normalen Unterricht vornehmlich reproduziert und nicht ausreichend reflektiert wird und wissenschaftsphilosophische Reflexionen eher am Rande des Unterrichts stattfinden. Höble et al. überschreiben diese Problematik mit einer *Abbilddidaktik* und sehen in ihr einen Grund für die mangelnde Motivation von Schülern im naturwissenschaftlichen Unterricht. Die bisher vorherrschende Vermittlung eines Naturwissenschaftsverständnisses erfolgt

über ein *Learning by doing*. Damit entwickeln die Schüler im Zuge des Unterrichts **implizit** ein Bild der Naturwissenschaft, ohne es bewusst zu reflektieren. Ein verbesserter naturwissenschaftlicher Unterricht sollte im Gegensatz dazu eine „bewusste und kritisch distanzierende Thematisierung wissenschaftsphilosophischer Aspekte“ **explizit** enthalten (Höble, Höttecke, & Kircher, 2003, S. 4-5). Auch Hahn (2013) diskutiert diese Notwendigkeit, betont aber die gleichwertige Bedeutung beider Aspekte. Schlüssig zeigt er auf, dass eine gelungene Wissenschaftspropädeutik immer einen Perspektivwechsel verfolgen muss: Im Unterricht muss einerseits die Fachperspektive eingenommen werden, wobei Hahn dem Nachvollziehen grundlegender Erkenntnisweisen den Vorzug vor der einfachen Vermittlung „sicheren Wissens“ gibt. Andererseits muss eine fächerübergreifend angelegte Metareflexion stattfinden, die einer „Kultivierung von Urteil und Kritik dient“ (ebd., S. 169). Auf diese Weise leistet die Wissenschaftspropädeutik letztlich einen Beitrag zur Allgemeinbildung der Schüler als Voraussetzung für eine aktive Teilnahme an der Gestaltung unserer Gesellschaft. Der Autor betont aber auch, dass dies im Rahmen des Gymnasiums nicht bedeuten darf, Inhalte eines Hochschulstudiums vorweg zu nehmen und zeigt damit wiederum die Grenze der Fachperspektive auf. Einen solchen Wechsel zwischen der Vermittlung von fachlichen Grundlagen einerseits und überfachlicher Reflexion andererseits beschreibt Hahn als organisatorisch sehr aufwändig. Wesentliche Gelingensbedingung hierfür sei, dass Freiräume und Ressourcen hierfür vorgesehen sind (ebd., S. 172). Mit der Einführung der Seminarfächer – vor allem der W-Seminare – wird diese Forderung erfüllt und die explizite Reflexion über die Wissenschaft und ihr Funktionieren zum ausdrücklichen Lehrziel (ISB, 2011). Als dabei zu berücksichtigende Dimensionen der Wissenschaftspropädeutik werden genannt: Das Lernen *an* Wissenschaft, das Lernen *in* Wissenschaft und das Lernen *über* Wissenschaft (Abbildung 9). Neben dem eigentlichen Forschen („Lernen an Wissenschaft“) sowie dem dafür notwendigen Erwerb entsprechender Fähigkeiten und Fertigkeiten („Lernen in Wissenschaft“) gehört auch nach diesem Modell die Epistemologie, also die Theorie der Wissensentstehung („Lernen über Wissenschaft“) zur Wissenschaftspropädeutik. Als Überschrift für all diese Inhalte der Naturwissenschaften hat sich der Begriff „Nature of Science“ (NOS) etabliert (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; N. G. Lederman, 2004; Norman G. Lederman & Lederman, 2012; McComas, Michael, & Almazora, 1998; Rehm & Stäudel, 2010).



Abbildung 9: "Felder der Wissenschaftspropädeutik"²⁶

²⁶(ISB, 2011)

Die "Natur der Naturwissenschaften"

"The phrase 'nature of science' typically refers to the epistemology of science, science as a way of knowing, or the values and beliefs inherent to the development of scientific knowledge" (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000).

Der aus der angloamerikanischen Forschung stammende Begriff der „Nature of Science“ (NOS) wird in der Regel als „Natur der Naturwissenschaften“ (NdN) ins Deutsche übersetzt. Eine Übersetzung, die dem Gemeintem näherkommt, wäre die *Wesenheit der Naturwissenschaft*. Hofheinz (2010) definiert NOS als ein „Meta-Wissen über naturwissenschaftliches Wissen und naturwissenschaftliche Tätigkeiten“ und sieht die Übersetzung „Natur der Naturwissenschaften“ ebenfalls als eher unglücklich an. Sie suggeriere eine Zwangsläufigkeit der Sache, also eine Unabänderlichkeit, die der Wandelbarkeit der Naturwissenschaften nicht entspreche. Dennoch hat sich dieser Begriff in der deutschen Literatur durchgesetzt und soll daher im Folgenden synonym zu NOS verwendet werden.

Höble et al. (2003) fordern, wie erwähnt, einen Paradigmenwechsel in Bezug auf naturwissenschaftlichen Unterricht. Naturwissenschaften sollten danach auch im Unterricht nicht isoliert betrachtet, sondern in ihren Auswirkungen auf die Gesellschaft und die Natur diskutiert werden. Hierzu ist das Einnehmen einer weiter gefassten Metaebene notwendig (ebd., S. 3). Diese übergreifende Metaebene beinhaltet für den Unterricht die Dimensionen *Erkenntnistheorie*, *Wissenschaftstheorie* und *Ethik* (Abbildung 10). Auch bei anderen Autoren finden sich die drei Felder Epistemologie, Wissenschaftstheorie und *Ethik* (im Sinne gesellschaftlicher Probleme) wieder. McComas (1998) fasst die für den Chemieunterricht relevanten Aspekte eines Wissens über Naturwissenschaft in Anlehnung an acht internationale Dokumente zu Bildungsstandards wie folgt zusammen:

- Naturwissenschaftliche Erkenntnis ist dauerhaft, aber vorübergehend.
- Naturwissenschaft verlässt sich stark (aber nicht ausschließlich) auf Beobachtung, experimentelle Beweise, logische Argumente und skeptisches Hinterfragen.
- Es gibt keinen *einen* Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung (dem entsprechend gibt es keine einzelne und einheitliche wissenschaftliche Methode, sondern viele).
- Wissenschaft ist ein Versuch, natürliche Phänomene zu erklären.
- Gesetze und Theorien haben in der Naturwissenschaft eine eigene Bedeutung. Schüler sollten wissen, dass auch mit weiteren Beweisen aus Theorien nicht zwingend Gesetze werden.
- Menschen aller Kulturen tragen zu wissenschaftlicher Erkenntnis bei.
- Neues Wissen muss offen und klar kommuniziert werden.
- Naturwissenschaftler müssen genau dokumentieren, sodass Wiederholbarkeit und Überprüfbarkeit gegeben sind.

- Beobachtungen sind immer theoriegeladen (da sie immer einen subjektiven Anteil haben).
- Wissenschaftler sind kreativ.
- Die Geschichte der Naturwissenschaften enthält evolutionäre und revolutionäre Aspekte.
- Wissenschaft ist Teil sozialer und kultureller Traditionen.
- Wissenschaft und Technik bedingen einander.
- Wissenschaftliche Ideen sind auch vom sozialen und historischen Umfeld abhängig.²⁷

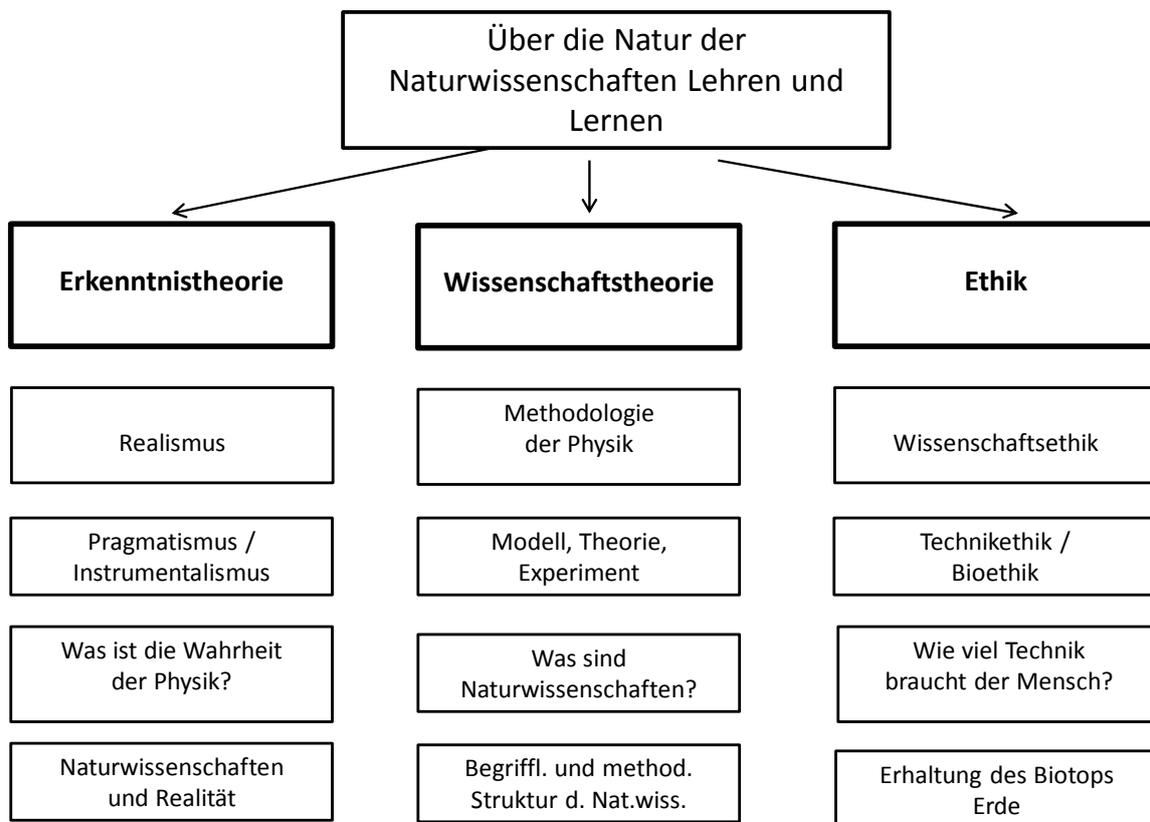


Abbildung 10: Überblick über die Dimensionen von NdN²⁸

Neumann (2011) greift diese Gedanken auf und arbeitet heraus, dass innerhalb dieser Aspekte zwischen zwei wichtigen Bereichen unterschieden werden muss, die sie als Nature of Scientific Inquiry (NOSI) und Nature of Scientific Knowledge (NOS) bezeichnet. *Nature of Scientific Inquiry NOSI* beschreibt demnach Wissen über die Bedeutungsdimensionen naturwissenschaftlicher Erkenntnisse, also zum Beispiel den Umstand, dass naturwissenschaftlich gewonnenes Wissen immer subjektiv beeinflusst ist, dass es stets empirisch basiert ist bzw. auf der Interpretation von Daten beruht und

²⁷(McComas et al., 1998, S. 6-7); Übersetzung Weirauch

²⁸(Höbtle et al., 2003, S. 19)

dass es damit vorläufig ist. Unter NOS²⁹ hingegen fasst Neumann das Wissen davon zusammen, wie die Naturwissenschaften funktionieren, also wie sie Wissen generieren. Als Kernaspekte führt sie den üblichen Dreischritt von der Frage über die Methode bzw. den Untersuchungs-Ansatz hin zur Interpretation an. All diese Dimensionen müssen also in einem Unterricht berücksichtigt werden, der ein realistisches Bild der Naturwissenschaften transportieren will. Und für die Umsetzung der Seminarfächer ist dem entsprechend das Fachwissen (CK) der Lehrkräfte über NOS einerseits und ihre Fähigkeit zur Vermittlung desselben (PCK) andererseits von Interesse.

Vorverständnis der Schüler

Rehm und Stäudel (2010) zeigen die Bedeutung einer guten Vermittlung der NOS für die Motivation der Schüler auf und betonen, dass naturwissenschaftlicher Unterricht daher eher ein Verstehen-Lernen sein sollte denn ein Vermitteln. Werden naturwissenschaftliche Inhalte im Sinne einer Wahrheit ohne Gelegenheit zur kritischen Reflexion vermittelt, entwickeln die Schüler eine fehlerhafte Vorstellung – von der Aussagekraft naturwissenschaftlicher Befunde ebenso, wie von den vorausgehenden Forschungsprozessen. Tatsächlich scheinen Schüler kein realistisches Bild vom Arbeitsalltag eines Wissenschaftlers zu haben (Höttecke, 2001). Sie stellen sich diese als vereinzelt arbeitende Individuen vor – die soziale Verflechtung der Person des Wissenschaftlers im Team ebenso wie mit der Gesellschaft wird nicht gesehen. Die Schüler haben außerdem widersprüchliche Vorstellungen vom Wahrheitsanspruch der Naturwissenschaften. Sie gehen davon aus, dass das im Unterricht Präsentierte gesichert und feststehend ist (Höttecke, 2001). Schüler vertreten außerdem einen ontologischen Realismus, gehen also davon aus, dass es eine naturgegebene Wahrheit gibt. Dass naturwissenschaftliche Gesetze vorübergehend sind, ist ihnen nicht bewusst. „Etwas nicht zu wissen kann dann nur bedeuten, dass man noch nicht danach geforscht hat“ (Carey, Evans, Honda, Jay und Unger, 1989 nach Höttecke, 2001), wobei *Forschen* mit Experimentieren gleichgesetzt wird. Dieses stellen sich jüngere Schüler als „planloses Ausprobieren und Entdecken“, ältere sich als „Datensammeln“ vor (Höttecke, 2001). Dass abschließend eine Bewertung durch die Scientific Community erfolgen muss, ist den Schülern nicht bekannt. Diese Befunde machen deutlich, dass die Schüler im aktuellen Unterricht bisher kein realistisches Bild der NOS erwerben und die Wissenschaftspropädeutik damit bisher lückenhaft bleibt. Geschuldet ist dies nicht nur dem fehlenden Platz des Themas in den Lehrplänen, sondern auch dem fehlenden Vorverständnis der Lehrkräfte.

²⁹ Andere Autoren verwenden die Abkürzung *NOSK* für *Nature of Science Knowledge*, um eine Abgrenzung zum allgemeinen Begriff *Nature of Science* *NOS* zu vollziehen. Diese Unterscheidung nach *NOSK*, *NOSI* und *NOS* soll im Weiteren auch in dieser Arbeit angewandt werden.

Vorverständnis der Lehrkräfte

„Studies were consistent in showing that teachers possessed inadequate conceptions of NOS“ (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000).

Inwiefern Lehrkräfte ein korrektes Verständnis von der Natur der Naturwissenschaften haben, bemisst eine Studie an der Meinung der Lehrer darüber, ob naturwissenschaftliches Wissen moralisch sei, ob empirisch basiert, ob es endgültig sei oder ein Produkt menschlicher Kreativität (Norman G. Lederman, 1992). Die Ergebnisse zeigen, dass über 50% der Lehrkräfte naturwissenschaftliche Erkenntnisse für endgültig hielten³⁰ (Behnke, 1961, nach Norman G. Lederman, 1992, S. 340). Hierzu passt, dass das Wissen von Lehrkräften über NOS unabhängig von ihrer Schul- und Universitätsausbildung und auch vom erreichten akademischen Grad ist: “Correlations of WISP³¹ scores with academic variables such as high school science credits, college science credits, specific science courses taken, grade-point average, and mathematics grades did not yield any significant relationships” (Carey und Stauss, 1968, nach Norman G. Lederman, 1992). Das Verständnis von NOS ist darüber hinaus unabhängig von kognitiven Variablen wie der Fähigkeit, logisch zu denken oder den Verbalisierungsfähigkeiten der Lehrer. Weiterhin spielt es keine Rolle, in welcher Schulart die Lehrkräfte unterrichten oder wie lange sie schon als Lehrer tätig sind (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 671).

Wovon es letztlich abhängt, ob eine Lehrkraft über ein höheres oder geringeres Maß an Wissen über NOS verfügt, ist nach dem momentanen Stand der Forschung noch nicht geklärt. Es wurde versucht, über Interventionsmaßnahmen wie verschiedene Fortbildungen weiteren Aufschluss zu erlangen. Zudem ist nicht belegt, DASS das Maß an Wissen einer Lehrkraft über NOS einen Einfluss auf ihren Unterricht hat. Lederman (1992) zitiert sogar Studien, die dieser Behauptung widersprechen (z. B. Duschl & Wright, 1989). Er zeigt aber an anderer Stelle auf, dass eine Lehrer-Sprache, die Befunde der Wissenschaft als nicht endgültig darstellt sondern das modellhafte heraushebt, einen deutlich positiven Einfluss auf die Wahrnehmung der Schüler von NOS hat.

Für den klassischen Chemieunterricht bleibt damit zu klären, ob das Verständnis der Lehrkraft von NOS eine Rolle spielt, und welche. Für die Seminarfächer und im Besonderen für das W-Seminar, in denen NOS ausdrückliches Lehrziel ist, kann ein adäquates Wissen von NOS als unabdingbare und notwendige Voraussetzung angesehen werden. Abd-El-Khalick und Ledermann betonen, dass eine Lehrkraft drei Komponenten der Expertise mitbringen muss, um NOS unterrichten zu können. Sie muss ein umfangreiches Wissen (content knowledge, CK) über die Naturwissenschaften haben, sie muss grundsätzliche pädagogische Prinzipien beherrschen (pedagogic knowledge, PK) und sie muss spezielles fachdidaktisches Wissen über die Vermittlung von NOS haben (pedagogic content knowledge, PCK). Letzteres umfasst „*knowledge of a wide range of related examples, activities,*

³⁰ Allerdings fand die gleiche Studie, dass 20% der Fachwissenschaftler dies ebenfalls glaubten.

³¹ WISP = Wisconsin Inventory of Science Process

illustrations, explanations, demonstrations, and historical episodes. These components would enable the teacher to organize, represent, and present the topic for instruction in a manner that makes target aspects of NOS accessible to precollege students” (Abd-El-Khalick & Lederman, 2000, S. 692).

Aber selbst dann, wenn die Lehrkraft über all diese Expertise in Bezug auf NOS verfügt, macht die Natur der Naturwissenschaften selbst es schwierig, ein realistisches Bild zu vermitteln. Dies stellte Henning schon in den 1990er Jahren am Beispiel der Umwelterziehung im Biologieunterricht dar, indem er auf die wachsende Komplexität des Fachinhalts per se hinweist (Henning nach Kahlert, 1991). Doch gerade diese Komplexität macht die Naturwissenschaften aus und muss daher im Unterricht realistisch gespiegelt werden: Es dürfen im Unterricht keine Entitäten vermittelt werden, denn solche absoluten Wahrheiten kennt die Naturwissenschaft nicht. Mit der Vermittlung dieser Vorläufigkeit und gegebenenfalls auch Unsicherheit naturwissenschaftlicher Erkenntnisse gewinnt der Chemieunterricht zwei wichtige Dimensionen hinzu, er gewinnt Erkenntnis über die Evidenz naturwissenschaftlicher Ergebnisse und er gewinnt Authentizität. **Evidenz** macht nach Höttecke den empirischen Kern der Naturwissenschaften aus. Dabei gehört zur Evidenz nicht allein das Datenmaterial, sondern auch die Diskussion und Anerkennung desselben durch die Scientific Community (Höttecke, 2012). Wird diese im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht abgebildet, so fehlt es diesem an **Authentizität** im Sinne eines realistischen Bildes von experimenteller Forschungspraxis. In dieser gibt es eine Vielzahl möglicher experimenteller Varianten, weshalb Höttecke eine andersartige Wahrnehmung des Experiments für den Unterricht fordert: „Wir kommen nicht umhin, Experimentieren als einen unsicheren Schwebezustand anzuerkennen“ (2012).

Bedeutung der wissenschaftlichen Befunde für das W-Seminar

Zieht man aus dem aktuellen, beschriebenen Forschungsstand Schlüsse für die Umsetzung der W-Seminare, so besteht eine grundsätzliche Kernkompetenz, über die die Lehrkraft verfügen muss, in einem realistischen Verständnis der Natur der Naturwissenschaften (NOS). Lehrerfortbildungen hierzu können eine effektive Methode sein, wenn eine direkte Instruktion über NOS erfolgt. Dabei wird die Metaebene eingenommen und nicht indirekt – zum Beispiel über das Erlernen von Verfahren – die Natur der Naturwissenschaften betrachtet. Im Weiteren muss mit einer entsprechenden Didaktik NOS den Schülern nahegebracht werden. Dabei gewinnt der Unterricht an Authentizität, wenn er ein realistisches Bild der Naturwissenschaften vermittelt – zum Beispiel, indem

- Befunde diskutiert und verhandelt werden, um ihre Evidenz zu klären;
- Das Prozesshafte der Naturwissenschaften verdeutlicht wird – am besten, indem der Prozess nachvollzogen wird, was allerdings Zeit braucht;

- der Unterricht so organisiert wird, dass eine Ergebnisoffenheit möglich und damit ein Echtheitscharakter erreicht wird, also
- eine Philosophie verfolgt wird, die Neugierde und kritisches Hinterfragen willkommen heißt und ihr in einem sozialen Kontext die Umsetzung ermöglicht.

Die Seminare mit ihren inhaltlichen und zeitlichen Freiheiten und der kleinen Schülerzahl pro Seminar können – bei entsprechender Gestaltung durch die Lehrkraft – hierfür den idealen Rahmen bieten. Ob dies gelingt, soll im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden.

Facharbeiten versus Seminararbeiten

„Seit den 1970er-Jahren schreiben alle bayerischen Abiturientinnen und Abiturienten in einem der beiden Leistungskurse eine Facharbeit. Eine Befragung der ersten Jahrgänge der Kollegstufe durch das Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung (ISB) ergab, dass sie nach Eintritt ins Studium insbesondere die Facharbeit als eine wichtige Vorbereitung auf die Anforderungen der Hochschule empfanden. Für die individuelle Betreuung blieb allerdings im Rahmen der Leistungskurse häufig nicht die erforderliche Zeit, da dafür kein Raum im Stundenplan vorgesehen war“ (ISB, 2007).

Die Oberstufe des neunjährigen Gymnasiums in Bayern basierte auf der KMK-Vereinbarung vom 7.7.1972 und sah seitdem die Wahl von zwei Leistungskursen für jeden Schüler vor. Für das Fach Chemie galt, dass Schüler des neusprachlichen Zweigs (für die nur in Klasse 11 Chemieunterricht vorgesehen war) keinen Leistungskurs Chemie wählen durften. In einem der Leistungskursfächer musste verpflichtend eine Facharbeit erstellt werden. Das Thema wählten die Schüler im Einvernehmen mit dem Leistungskurslehrer zu Beginn des Halbjahres 12.2. und die Arbeit war bis Ende 13.1 abzuliefern. Damit stand ein Zeitrahmen von knapp zwei Semestern zur Verfügung. Der Leistungskurslehrer sollte während der Facharbeit beratend zur Seite stehen. Insbesondere bei experimentellen Arbeiten hatte er die Kollegiaten in wissenschaftliche Arbeitstechniken und -methoden einzuweisen (ISB, Sonderkontaktbrief Februar 1985 nach Masuhr, 2013). Die Arbeit wurde vom Leistungskurslehrer korrigiert und benotet, wobei der Erstellungsprozess der Arbeit nicht in die Benotung einfluss. Am Ende erfolgte eine individuelle 20-minütige mündliche Prüfung. In den Jahrzehnten der reformierten Oberstufe etablierte sich die Facharbeit als ein von Schülern, Lehrkräften und Eltern allgemein akzeptiertes Format zur wissenschaftspropädeutischen Vorbereitung auf ein eventuelles Studium. Dem entsprechend kam eine Studie von Nussinger, die Facharbeiten aus der Biologie untersuchte, zu dem Schluss, „dass eine solche längerzeitige Lernleistung berechtigt als ein geeignetes Instrument angesehen werden kann, um wichtige inhaltliche und methodische Voraussetzungen für das Studium zu erfüllen“ (2008, nach Masuhr,

2013). Andererseits bleibt zu fragen, ob die Kollegstufe des G9³² insgesamt und über die Facharbeit hinaus eine wissenschaftspropädeutische Vorbildung für das Studium lieferte. Trautwein et al. (2010) ziehen in ihrer Besprechung der TOSCA-Studien³³ das Fazit, dass insgesamt in der Forschung eine kritische Bewertung der wissenschaftspropädeutischen Leistung der gymnasialen Oberstufe überwiegt. Als zentralen Kernkritikpunkt an der Oberstufe von 1972 identifizieren sie die als zu stark wahrgenommene Spezialisierung der Schülerinnen und Schüler durch die Belegung bestimmter Leistungskurse. Während sich zum Konzept der ehemaligen Kollegstufe in Bayern also Kritikpunkte formulieren lassen, scheint sich das Instrument der Facharbeit für die Wissenschaftspropädeutik bewährt zu haben. Es hat daher über die W-Seminare auch Eingang in die neue G8-Oberstufe gefunden. Hier werden der wissenschaftspropädeutischen Arbeit nun drei statt knapp zwei Semestern zugestanden und es steht eine entsprechende Rahmenstruktur im Wochenstundenplan zur Verfügung. Auch für die Lehrkräfte ist nun explizit Betreuungszeit vorgesehen, was bei den Facharbeiten nicht der Fall war. Es ist also von einer intensiveren und systematischeren Betreuung der Seminararbeiten im Vergleich zu den Facharbeiten auszugehen. Wichtiger Unterschied zwischen den Facharbeiten der Leistungskurse und den Seminararbeiten in den W-Seminaren ist, dass erstere auf Leistungskurswissen basierten, während die Schüler im W-Seminar lediglich auf das Wissen der Mittelstufe zurückgreifen können.

In ihrer Untersuchung vergleicht Masuhr Facharbeiten aus Leistungskursen Chemie mit Seminararbeiten aus aktuellen Chemie-W-Seminaren hinsichtlich formaler und inhaltlicher Unterschiede. Sie zeigt, dass das fachliche Niveau der Seminararbeiten seltener das Niveau des Transfers oder sogar Problemlösens erreicht und sich häufiger auf der Ebene der Reproduktion oder Reorganisation bewegt. Allerdings schreibt die Autorin dies den Themenstellungen zu, die häufig theorieorientiert waren und damit vor allem Reproduktion erforderten. Unter den Facharbeiten fanden sich verstärkt Arbeiten mit praktischem, experimentellem Anteil und diese zeigten eine stärkere Tendenz zu Problemlösen und Transfer (2013, S. 94). Deutliche Unterschiede, die dem neuen Rahmen der wissenschaftspropädeutischen Arbeit geschuldet sein dürften, gab es auch in Bezug auf externe Partner: Bei den Facharbeiten fand in 19% der Fälle eine Zusammenarbeit mit Unternehmen statt, mit Universitäten wurde nicht kooperiert. Bei den Seminararbeiten ist diese – ja ausdrücklich gewünschte – Kooperation deutlich häufiger zu finden: In 35,7% der Fälle arbeiteten die Schüler mit externen Partnern aus Unternehmen zusammen und 21,4% der Arbeiten wurden in Kooperation mit einer Universität verfasst.

³²G9 = neunjähriges Gymnasium

³³TOSCA = „Transformation des Sekundarschulsystems und akademische Karrieren“; Studien der Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung im Auftrag des Landes Baden-Württemberg

3.4. Das P-Seminar

Im Rahmen des Projekt-Seminars verfolgen die Schüler ein gemeinsames Projektziel, das unter berufsähnlichen Umständen erreicht werden soll. Damit sind sowohl Methoden des Projektmanagements (Arbeitsteilung, Zeitplan, Projektleitung, etc.) als auch allgemeine Methodenwerkzeuge (Strukturieren, Präsentieren, Überprüfen, ...) und Arbeitsformen (Teamwork, systematische Rückmeldung, Protokollierte Sitzungen, etc.) gefordert. Diese Faktoren werden unter dem Begriff *Berufsweltkompetenzen* zusammengefasst (ISB, 2007). Grundsätzlich ist es zeitgemäß und begrüßenswert, dass auf diese Weise auch im Gymnasium eine stärkere Praxis-Orientierung angestrebt wird. Neben den Berufsweltkompetenzen sollen die Schüler befähigt werden, eine Entscheidung über ihre spätere Berufs- oder Studienwahl zu treffen – sie sollen also *Berufswahlkompetenzen* erlangen (ISB, 2007). Das ISB empfiehlt, für die Berufs- und Studienberatung (*BuS-Phase*) ein halbes Jahr zu veranschlagen und für das eigentliche Projekt ein Jahr. Dabei ist es auch hier der Lehrkraft freigestellt, welche Reihenfolge sie wählt oder ob sie sich für eine Verschränkung der Schwerpunkte entscheidet. Grundsätzlich erscheint (bei zwei Schulstunden pro Woche) ein Jahr für ein Projekt mit einem externen Partner sehr knapp bemessen. Außerdem stellt sich die Frage, wie und mit welchen Inhalten die Schüler über ein halbes Jahr hinweg in der *BuS-Phase* motiviert werden sollen. Eine Verschränkung der beiden Phasen scheint einen möglichen Ausweg zu bieten. Allerdings ergaben Erhebungen des Lehrerfortbildungszentrums Mittelfranken, dass „rund zwei Drittel“ der P-Seminare von zwei Lehrkräften durchgeführt werden, wobei eine Lehrkraft das Modul „Allgemeine Studien- und Berufsorientierung“ übernahm und eine andere Lehrkraft das Modul „Projektarbeit“ (Vogt & Gottfried, 2011). Projekt- und BuS-Phase scheinen also in der Regel unabhängig voneinander abzulaufen. Eine Verschränkung von Berufswahl- und Berufswelt-Kompetenzen dürfte damit schwierig zu erreichen sein.

Auch in der Wahl des Projektes stehen der Lehrkraft viele Optionen offen: Die Teilnahme an Wettbewerben ist ebenso möglich wie die Dienstleistung für ein Unternehmen. Das eigene *Steckenpferd* des Chemielehrers kann ebenso den Anstoß geben wie ein lokal oder in der Schule akutes Thema. Beispiele für Themen von P-Seminaren mit Chemie als Leitfach spiegeln dies³⁴:

- Produktion und Untersuchung von Alltagschemikalien
- Herstellung von Silikonkautschukformen und Resin-Abgüssen (Abgüsse von Fossilien; Modellbau)
- Technische Chemie im Bereich Gebäude
- Natur und Technik in der Grundschule
- Chemie rund um das Auto
- Müllfreie Schule

³⁴ Persönliche Mitteilung MB-Dienststelle Unterfranken (2010)

- Populäre Chemie
- Faszination Chemie - Gestalten und Präsentieren einer "Chemieshow" für den Infoabend bzw. das Sommerfest
- Linux als Entwicklungsplattform für Lernprogramme zur Chemie
- Unser Trinkwasser – na klar!
- Von der Gerste zum Bier
- Erstellung eines Audioguides zu Glaubersalzausstellung im Städt. Museum
- Chemie als Event an der Schule
- Ausstellung zu Risiken und Nutzen der Kernchemie

Für das P-Seminar sind für jedes Semester mindestens zwei kleine Leistungserhebungen gefordert, wobei ausdrücklich auf die mögliche methodische Vielfalt hingewiesen wird. Diese stärker auf die Pädagogik als auf die Bewertung ausgerichtete Schwerpunktsetzung ist zu begrüßen. Dem entsprechend ist vorgeschrieben, dass die Schüler über den gesamten Verlauf des P-Seminars hinweg ein Portfolio anzulegen haben, in dem sie ihre Arbeit – sowohl in der BuS-Phase, als auch während des Projektes – dokumentieren. Damit findet eine zeitgemäße und vor allem in den Naturwissenschaften bisher viel zu wenig etablierte Bewertungsmethode Eingang in das Fach Chemie. Jedem Schüler steht außerdem am Ende des P-Seminars ein Zertifikat zu, das in eine Bewerbungsmappe Eingang finden kann.

Berufs- und Studienorientierung

Bereits 1969 entwarfen einige Bundesländer als Reaktion auf Beschlüsse der Kultusministerkonferenz Lehrpläne oder Richtlinien zur Einführung der Berufsberatung in die Schule. Seit 1992 existiert eine gemeinsame Empfehlung zur Berufsorientierung von Kultusministerkonferenz, Hochschulrektorenkonferenz und Bundesanstalt für Arbeit (Oechsle, Knauf, Maschetzke, & Rosowski, 2009, S. 229). Eindringlich beschreiben die Autoren, dass Berufsorientierung lange kein Thema für Abiturienten war, da üblicherweise ein Hochschulstudium folgte, und dieses in der Regel zu einem zielgerichteten Berufsabschluss führte. Die Frage der Studienfachwahl war auf ein viel überschaubareres Spektrum möglicher Studiengänge beschränkt und „war zudem deutlich geschlechtsspezifisch vorstrukturiert“ (Oechsle et al., 2009). Seit den 1990er Jahren hat sich die Vielfalt an möglichen Studiengängen und Ausbildungsrichtungen an Universitäten und Fachhochschulen erheblich ausgeweitet. Zusätzlich eröffneten sich für Abiturienten Optionen in der beruflichen Ausbildung oder einem dualen Ausbildungsweg aus Beruf und parallelem Studium. Dadurch entstand die Notwendigkeit einer ausführlichen Studien-Information. Zur Vielfalt an Ausbildungswegen und Berufen kommt die Unberechenbarkeit des Arbeitsmarktes insgesamt hinzu. Die wachsende Globalisierung, die unvorhersehbare Entwicklung neuer Technologien oder neue Formen der Arbeitsorganisation machen Prognosen über die Sicherheit bestimmter Berufe oder Voraussagen über notwendige

Qualifikationen immer schwieriger und erschweren damit die Berufs- und Studienorientierung der Abiturienten zusätzlich (Oechsle et al., 2009).

Die Notwendigkeit der Verbesserung des Studien- und Berufswahlverhaltens der Gymnasiasten ergibt sich auch aus den aktuellen Zahlen zu Studienabbruchquoten einerseits und Befunden zur Bildungsgerechtigkeit andererseits. Studien des Hochschul-Information-Systems HIS zeigen, dass 23% der Diplom- und 28% der Master-Studierenden ihr Studium abbrechen (Heublein et al., 2012). Betrachtet man speziell die Zahlen für die Naturwissenschaften in den letzten Jahren, so haben über 39% der Studierenden (!) ihr Studium abgebrochen (Heublein et al., 2012). Die Erhöhung der Studienabbruchquote in den letzten Jahren schreibt das HIS einerseits den Übergangs- und Anpassungsproblemen bei der Einführung des Bachelor-Master-Systems zu. Andererseits identifiziert es drei Motive aus denen Studierende ihr Studium abgebrochen haben. An erster Stelle stehen Leistungsprobleme, weiterhin haben 19% der Studierenden Probleme mit der Finanzierung ihres Studiums und 18% der Abbrecher „identifizieren sich nicht mehr mit ihrem Studienfach und den sich daraus ergebenden beruflichen Möglichkeiten. Aus ihrer Sicht haben sich ihre Vorstellungen vom gewählten Studium nicht eingelöst, sie haben sich mit falschen Erwartungen immatrikuliert“ (Heublein et al., 2009). Anstrengungen zur Bildungsgerechtigkeit sollten demnach Finanzierungshilfen für ein Studium enthalten und Anstrengungen zur Senkung der Studienabbruchszahlen müssen offensichtlich eine realistischere Einschätzung der Anforderungen im Studium und der späteren Berufsbilder bei den Abiturienten erwirken.

Wie ist eine solche verbesserte Berufswahl- und Studienwahlkompetenz zu erreichen? Befragungen von Berufsberatungslehrkräften ergaben, dass ein zentrales Problem im mangelnden Interesse der Schüler liegt. Allgemeine Veranstaltungen, die sich an große Gruppen richten, werden von den Schülern nicht angenommen. Die Beratungslehrer kritisieren, dass ein Eingehen auf individuelle Bedürfnisse der Schüler im Rahmen bisheriger Veranstaltungen nicht möglich ist. Eine solch individuelle Beratung scheint aber notwendig und willkommen zu sein. Neben der Individualisierung der Angebote wird als weitere Strategie zur Verbesserung der Berufsberatung unter anderem vorgeschlagen, der Teilnahme an den Angeboten eine stärkere Verbindlichkeit zu geben, indem sie im Zeugnis vermerkt werden (Oechsle et al., 2009, S. 241-244).

Situation an bayerischen Gymnasien

Als Reaktion auf diese Erkenntnisse wurde 2005 eine als „**BuS-Ordner**“ bekannt gewordene Handreichung herausgegeben (H. Schmitz et al., 2005), die 2016 durch umfangreiche online-Materialien ergänzt wurde (ISB, 2016). Sie soll den Gymnasial-Lehrkräften in Bayern bei der Berufs- und Studienvorbereitung als Grundlage dienen und wird für die Verwendung in den P-Seminaren empfohlen. Die Darstellung der bisherigen rechtlichen Grundlagen in dieser Handreichung macht deutlich, dass am Gymnasium in Bayern zwar immer der allgemeine Bildungsauftrag zur Studien- und Berufsvorbereitung bestand, eine wirkliche Verortung im gymnasialen Fächerkanon

aber nicht gegeben war. Die Autoren bestätigen, dass die Entscheidung über die Berufs- und Studienwahl von den Kollegiaten so lange wie möglich hinausgezögert wird (H. Schmitz et al., 2005, Kap.2, S.1). Im Rahmen des P-Seminars sollte dies geändert werden, wobei die von Oechsle et al. genannten Vorschläge zum Tragen kommen: Eine Individualisierung wird durch Wahl der entsprechenden Informationsveranstaltungen und durch direkte Beratungsgespräche erreicht. Weiterhin können die Selbsterkundungshefte des BuS-Ordners dazu beitragen. Ob damit tatsächlich eine individualisierte Berufswahl-Beratung erreicht werden kann, bleibt zu überprüfen. Auch bleibt zu fragen, ob gymnasiale Lehrkräfte solche Beratungsgespräche professionell durchführen können. Durch die Etablierung eines eigenen Formats für die Berufs- und Studienberatung im Fächerkanon soll eine maximale Verbindlichkeit des Themas sichergestellt und so eine Berufs- und Studienwahlkompetenz erreicht werden. Die geforderten Berufsweltkompetenzen sollen dann über das eigentliche Projekt angestrebt werden.

Projektarbeit und Projektmanagement

Gudjons (1997) zeigt auf, dass zentrale Charakteristika des Projektunterrichts aus historischen Bestrebungen der Erziehung zur Demokratie hervor gegangen sind. Dem entsprechend beziehen solche schulischen Projekte sowohl gesellschaftlich relevante Bezüge als auch die Interessen der Schüler mit ein. Außerdem entsteht bei der Projektarbeit eine sozial veränderte Situation, denn Schüler und Lehrkräfte arbeiten als gleichberechtigte Partner. Ziel ist die zunehmende Selbstverantwortung der Schüler im Projekt. Diese wird durch die veränderte Lernsituation, vor allem aber durch eine zielgerichtete Projektplanung und Produktorientierung erreicht. Dabei wird auf fachliche Inhalte zurückgegriffen, die Fachgrenzen werden aber überschritten. Kranz und Schorn (2008, S. 34) fassen die von Gudjons diskutierten Merkmale der Projekt-Methode aktuell wie folgt zusammen:

- „Das Thema des Projekts geht von den Interessen der Handelnden aus.
- Das Projekt muss Bezüge zum Lebensumfeld der Schüler haben (Kontextorientierung).
- Das Projekt ist fächerübergreifend [...].
- Planung und Durchführung des Projekts erfordern inhaltliche sowie zeitliche Selbstorganisation und Eigenverantwortlichkeit. Der Lehrer hält sich also während des Projekts weitgehend zurück. Er reduziert seine Funktion entweder auf die eines fachlich Beratenden oder übernimmt gegebenenfalls die Rolle eines Lernpartners [...].
- Das Gelingen eines Projekts erfordert die Interaktion der Handelnden in arbeitsteiligen und sich thematisch ergänzenden Gruppen.
- Ein Projekt muss zu einem nachweisbaren Ergebnis führen (Produktorientierung). [...]
- Ein Projekt hat eine klare zeitliche Beschränkung.“

Barke und Harsch (2001, S. 75) gehen auf den letzten Punkt genauer ein und beschreiben, dass projektorientierter Unterricht zeitlich verschieden angelegt sein kann, von der Einbindung in den regulären Unterricht bis zur gesonderten Projektwoche. Kennzeichnend ist jedenfalls eine Einmaligkeit des Vorhabens in Abgrenzung zum *Normalgeschehen*. Meyer (2011, S. 80) betont das besondere pädagogische Potenzial der Projektarbeit als einer kooperativen Lernform, die besonders gut Handlungskompetenz und, daraus resultierend, Selbstwertgefühl vermitteln kann. Weiterhin weist er ausdrücklich drauf hin, dass die Projektmethode damit auch auf Anforderungen des Berufslebens vorbereiten kann.

Im Gegensatz zu der bisher für die Schule üblichen Projektarbeit wird im P-Seminar das Projektthema von der Lehrkraft vorgegeben und kann dann im Rahmen des Möglichen nach dem Interesse der Schüler modifiziert werden. Andererseits ist es aber ausdrücklich NICHT die Aufgabe des Lehrers, für ein Gelingen des Projekts zu sorgen. Während Kranz und Schorn (2008) ein nachweisbares Ergebnis für Projektarbeiten fordern, hat ein *Scheitern* des Projekts eines P-Seminars keine Konsequenzen, da das Ergebnis selbst nicht bewertet wird. Es hat lediglich Auswirkungen auf die Motivation und Zufriedenheit des Teams. Damit entsteht eine besondere Spannungssituation, denn das Scheitern des Projekts eines P-Seminars wird ausdrücklich billigend in Kauf genommen zugunsten der Eigenverantwortlichkeit der Schüler (ISB, 2007, S. 51).

Eine besondere Dimension gewinnt diese unterrichtliche Spannungssituation dann, wenn tatsächlich mit einem externen Partner zusammengearbeitet wird, der ein Ergebnis einfordert. Solche Situationen beschreiben Krause und Eyerer als **Ernstcharakter** und definieren: „Ein Projekt wird im Ernstcharakter durchgeführt, wenn es in einem Angebots-Auftrags-Verhältnis bearbeitet wird“ (Eyerer & Krause, 2007, S. 31). Aus diesem Ernstcharakter ergibt sich eine völlig neue unterrichtliche Situation, denn die Schüler werden vom Auftraggeber als Gegenüber wahrgenommen und behandelt (ebd., S. 33). Die Autoren berichten aus jahrelanger Erfahrung mit Projekten mit Ernstcharakter im Rahmen der TheoPrax-Methode und betonen, dass dieser nicht nur ein ausschlaggebender Impulsgeber für ein Projekt sein kann, sondern auch mit einem massiven Motivationsschub und gesteigertem Selbstwertgefühl einhergeht (Krause & Eyerer, 2007, S. 179). Diesen motivierenden Charakter haben aber nicht nur Projekte mit echtem Auftragsverhältnis, sondern Schulprojekte generell. Die soziale Einbindung der Schüler und die empfundene Selbstbestimmung bewirken ein Kompetenzgefühl, das besonders motiviert (Block, 2010, S. 32).

Projekte mit Ernstcharakter, aber auch solche ohne Auftraggeber bedürfen der Struktur und Organisation, sie bedürfen eines **Projektmanagements**. Krause und Eyerer geben grundlegende Schritte für das Management von Projekten in schulischen Zusammenhängen an (2007, S. 192):

- Definieren klarer Ziele
- Setzen von Meilensteinen
- eindeutige Verteilung von Kompetenzen und Aufgaben
- Überblick über den Zeit- und Kostenrahmen

- Sorgfältige Dokumentation des Projektverlaufs
- Informationsfluss und Kommunikation innerhalb des Teams und mit externen Personen
- Einschätzen der Teamstärken und Teamschwächen
- Abschätzen der in der jeweiligen Projektarbeit vorhandenen Risiken

Sie empfehlen für Schulprojekte eine solcher Art strukturierte Vorgehensweise von Anfang an und stellen klar, dass die Lehrkraft sich dazu ein entsprechendes Wissen über Methoden des Projektmanagements aneignen sollte. In einer vom Kultusministerium empfohlenen Broschüre des Bildungswerks der Bayerischen Wirtschaft werden für die vier Projektphasen Projektdefinition, Projektplanung, Projektdurchführung und Projektabschluss jeweils verschiedene Vorgehensweisen und folgende Methodenwerkzeuge aufgezeigt:

„Projektmanagement umfasst die Steuerung und Kontrolle eines Projektablaufes und ist ein systematischer Prozess zur Führung komplexer Vorhaben. Projektmanagement ist der Versuch, die Lösung der anstehenden Aufgaben nicht dem Zufall oder der Genialität von Einzelpersonen zu überlassen, sondern sie ganz gezielt zu einem festen Zeitpunkt herbeizuführen. Projektmanagement besteht aus der Gesamtheit von Führungsaufgaben, Führungsorganisation, Führungstechniken und Führungsmitteln. In der Regel wird es nur vom Projektleiter mit Hilfestellung des Lehrer(-Coaches) ausgeübt. Projektmanagement ist erlernbar, erfordert aber eine aktive und intensive Auseinandersetzung mit der Methode“ (vbw, KM, & bbw, 2005).

Damit wird deutlich, dass im P-Seminar das Projektmanagement – neben dem Projekt selbst – die eigentliche Herausforderung für die Schüler, vor allem aber auch für die Lehrkraft darstellt.

Portfolio und Zertifikat

Für das P-Seminar ist zur Dokumentation der Leistungen das Anfertigen eines Portfolios durch die Schüler vorgeschrieben, dessen Bewertung in die Gesamtnote einfließen kann (ISB, 2007, S. 59-60). Während unter Portfolio verschiedene Formen von Sammlungen verstanden werden können – eine Mappe von Bildern ebenso wie die Aufstellung von Wertpapierbeständen (Krause & Eyerer, 2007) – ist für die Schule mit einem Portfolio „eine zielgerichtete Sammlung von Schülerarbeiten, welche die Anstrengungen des Lernenden, den Lernfortschritt und die Leistungsresultate auf einem oder mehreren Gebieten zeigt“ gemeint. „Die Sammlung schließt die Beteiligung des Schülers bei der Auswahl der Inhalte, Kriterien für die Auswahl zur Beurteilung sowie selbstreflexive Gedanken ein“ (Das Portfolio in der Schule, ISB). Wichtiger Unterschied zur einfachen Sammelmappe ist die Zielgerichtetheit – es muss von vornherein klar sein, welchen Kriterien das Portfolio entsprechen soll und welche

Inhalte wie hineingehören. Nur so wird eine Beurteilung nach ebendiesen Kriterien am Ende möglich.

Meyer (2011) sieht im Portfolio zunächst eine andersartige und damit bereichernde Form der Leistungsdokumentation. Darüber hinaus hat ein Portfolio aber auch das Potenzial, für den Schüler das eigene Lernen zu dokumentieren und zu steuern und damit eine Reflexion einzuleiten, über die mit anderen und / oder der Lehrkraft kommuniziert werden kann. Es kann also letztlich ein „Entwicklungsinstrument für selbstbestimmtes Lernen“ sein (Krause & Eyerer, 2007, S. 90). Die Rolle des Portfolios als Anstoß zur (neuartigen) Kommunikation zwischen Lehrkraft und Schüler betonen auch Kranz und Schorn. Sie zeigen auf, dass eine solche „vorzeigbare Leistungsmappe“ eine gerade im Chemieunterricht selten genutzte Chance zur „Spurensicherung des Lernweges“ sei, die „Fragestellungen, Recherchen, Experimenten, Auswertungen und Reflexionen“ enthalten könne (Kranz & Schorn, 2008, S. 177-178; 180).

Mit dem Portfolio steht also eine Methode der Leistungsdokumentation einerseits und der Lernorganisation andererseits zur Verfügung. Sie entspricht der Komplexität, Individualität und Unberechenbarkeit des Projekts im P-Seminar. Ob das Portfolio letztlich als Grundlage zur Notengebung herangezogen wird, bleibt der Lehrkraft überlassen. Es soll jedenfalls als Grundlage für die Erstellung eines **Zertifikats** dienen. Dieses Zertifikat dokumentiert die Studiengänge und Berufsfelder, mit denen sich der Schüler beschäftigt hat, die Maßnahmen, an denen er im Rahmen der BuS-Phase teilgenommen hat, die Benennung des Projekts und die individuell in ihm erfüllten Aufgaben sowie eine Auswahl dabei besonders gezeigter Kompetenzen. Das Zertifikat ist kein Bestandteil des Abiturzeugnisses, kann aber als Bestandteil einer Bewerbungsmappe sein und als solches die Fähigkeiten des Schülers auch nach außen hin dokumentieren.

3.5. Externe Partner für W- und P-Seminar

Wie bereits beschrieben ist für die Seminarfächer ausdrücklich gefordert, den Kontakt zu Partnern außerhalb der Schule zu suchen. Im W-Seminar wird es dabei vorwiegend um das Einholen externer Expertise gehen oder um Ressourcen für experimentelle Arbeiten, die innerhalb der Schule nicht verfügbar sind (Geräte, Chemikalien, sonstige Materialien). Für das P-Seminar sind sehr verschiedene externe Partner denkbar – konkret können dies kulturelle Einrichtungen, Forschungsinstitute, Freiberufler, kirchliche Einrichtungen, Behörden, Vereine und Verbände, soziale Einrichtungen, Kliniken und Hochschulen sowie Unternehmen sein (P-Seminar Gesamtdokument, ISB). Dabei können diese Partner als Sponsor, Berater oder Referent, Auftragnehmer, Projekt-Partner oder Auftrag- bzw. Arbeitgeber auftreten. Letzteres wird als besonders erstrebenswert erachtet, weil dadurch das bearbeitete Projekt einen besonderen Ernstcharakter erhält (ISB, 2007).

Tabelle 8: Art der externen Kooperationspartner bayernweit³⁵

Prozent	Externer Partner
49%	Unternehmen oder Freiberufler
13%	kulturelle Einrichtungen
9%	Hochschulen
7%	soziale Einrichtungen
7%	Vereine
6%	kirchliche Einrichtungen

Die Angaben darüber, mit welchen Kooperationspartnern die W- und P-Seminare tatsächlich Kontakte eingingen, sind sehr unterschiedlich. Eine erste Auswertung für die P-Seminare Mittelfrankens ergab, dass die Hochschulen häufigster Kooperationspartner waren (Abbildung 11).

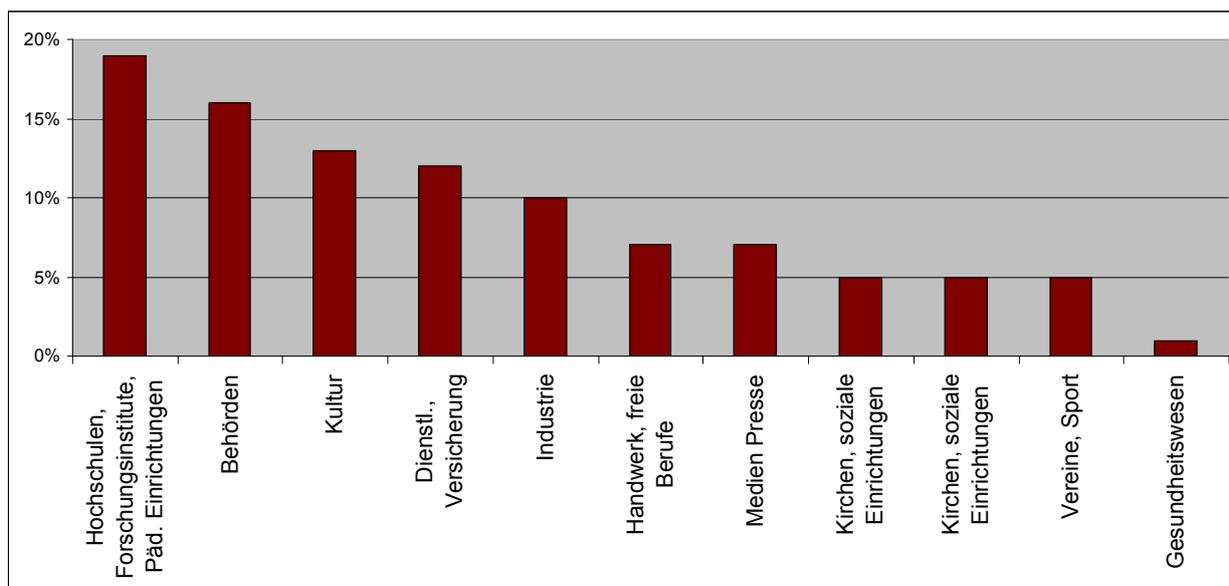


Abbildung 11: Art der Kooperationspartner von P-Seminaren in Mittelfranken 2009-2011³⁶

Die bereits zitierten Angaben der ISB-Erhebung (Reinold, 2011) zeigen ein anderes Bild: Bayernweit stellten Unternehmen und Freiberufler die größte Gruppe von Kooperationspartnern, die Hochschulen rangieren erst auf Platz drei (Tabelle 8). Es ist wohl davon auszugehen, dass die Wahl der Kooperationspartner maßgeblich davon abhängt, in welchem Umfeld die jeweilige Schule liegt und welche potenziellen Partner

³⁵(Vogt & Gottfried, 2011)

³⁶ Quelle: RLF Mittelfranken nach: (Reinold, 2011); Zahlen aus 358 Seminaren an 57 Gymnasien

vorhanden sind. In ländlichen Gebieten stehen in der Regel Behörden oder kleinere Unternehmen zur Verfügung, Universitäten oder größere Industriebetriebe finden sich aber eher im städtischen Bereich. Für das Fach Chemie sind – je nach Seminarthema – neben den entsprechenden chemiebezogenen Betrieben vor allem Analyselabore, aber auch Unternehmen der Lebensmittelbranche oder medizinische Einrichtungen als Kooperationspartner denkbar. Auch die Rolle, die die Partner jeweils im Projekt einnehmen, ist nicht bekannt. Die Vertreterin des ISB für das Fach Chemie gibt an: „Die externen Projektpartner werden in erster Linie in der Funktion als **Referent** oder **Coach** herangezogen. Auftraggeber bzw. Auftragnehmer sind hingegen externe Projektpartner an den meisten Schulen nur selten“ (Reinold, 2011).

Besondere Bedeutung haben in letzter Zeit so genannte **Schülerlabore** gewonnen, die von Museen, Forschungsinstitutionen oder Hochschulen eingerichtet wurden. Sie geben Schülern die Möglichkeit, am außerschulischen Lernort praktisch zu arbeiten. Zwar handelt es sich hier nicht um Kooperationspartner im engeren Sinne, aber viele W- und P-Seminare nehmen diese Angebote zur praktischen Weiterbildung in Anspruch (SLB, 2008, S. 8).

Außerschulische Lernorte und Schülerlabore

Während in der Vergangenheit planmäßiges Lernen vorwiegend in der Schule stattfand, sind heute Lern- und Bildungsprozesse nicht mehr ausschließlich an die Schule gebunden. Man spricht von außerschulischen Lernorten und versteht darunter Orte außerhalb des Geltungsbereiches der Schulordnung, an dem Inhalte gelernt werden, die Schulbezug haben (Böhn & Obermaier, 2013). Grunert (2011, S. 140) unterscheidet dabei zwei Varianten, nämlich formale und non-formale Bildungsorte. Erstere sind strukturierte und auf die systematische Initiation von Lern- und Bildungsprozessen ausgerichtete Lernorte, womit schulähnliche Einrichtungen wie Nachhilfe, Musikschulen oder Computer- und Fremdsprachenkurse gemeint sind. Unter non-formalen Bildungsorten verstehen die Autoren sowohl Medien, Vereine oder allgemein Peer-Groups als auch organisierte, kommerzielle Lernkontexte wie Museen oder Science-Center. Innerhalb dieser Systematik sind Schülerlabore als non-formale außerschulische Lernorte anzusehen. Bei genauerer Betrachtung muss man allerdings kommerzielle Angebote wie Museen oder Science Center von nicht kommerziellen Angeboten z. B. an Universitäten unterscheiden. Während in Museen und Science Centern die Schüler in der Regel ohne unmittelbare Begleitung an Exponaten aktiv werden können (Tal, 2012), erfolgt in Schülerlaboren eine engere Betreuung. Hillebrandt und Dähnhardt geben an, dass in den letzten Jahren über 200 solcher (kommerziellen und nicht kommerziellen) Schülerlabore eingerichtet wurden. Als gemeinsame Ziele listen sie auf:

- Förderung von Interesse und Aufgeschlossenheit der Jugendlichen für Naturwissenschaft und Technik

- Selbstständige Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlich-technischen Zusammenhängen und Arbeitsweisen im Rahmen aktivierender Lernformen
- Vermittlung eines zeitgemäßen Bildes von Naturwissenschaften und Technik
- Schaffen von Gelegenheiten, Tätigkeitsfelder und Berufsbilder im naturwissenschaftlich-technischen Bereich kennen zu lernen
- Möglichkeit, die Bedeutung von Naturwissenschaften und Technik für unsere Gesellschaft aus erster Hand zu erfahren (Hillebrandt & Dähnhardt, 2005).

In der Regel kommen eine oder mehrere Schulklassen oder Schülergruppen in Begleitung von Lehrkräften ins Schülerlabor. Sie führen dort in Kleingruppen einige Stunden bis ganze Tage oder Wochen Experimente in authentischer Laborumgebung durch (siehe z. B. LeLa, 2016). Dabei werden sie eng von besonders geschultem Personal betreut. Nicht-kommerzielle chemische Schülerlabore entstanden zum Beispiel im Rahmen des Chemol-Projekts an der Universität Oldenburg im Jahr 2000 (Nashan, 2009) oder an der Universität Nürnberg-Erlangen mit dem Nürnberg-Erlanger-Schüler- und Schülerinnen-Labor NESSI-Lab (Kometz, 2013). Eine Sonderform der Schülerlabore stellen die **Lehr-Lern-Labore** (LLL) dar, bei denen Schüler von Lehramtsstudierenden betreut werden. Hieraus ergibt sich der Synergieeffekt, dass nicht nur die Schüler von der Veranstaltung profitieren, sondern auch die zukünftigen Lehrer die Gelegenheit erhalten, praktische Erfahrung im Umgang mit Schülern zu erwerben. Solche Lehr-Lern-Labore werden zum Beispiel seit 2009 im Rahmen des M!ND-Centers an der Universität Würzburg (Elsholz & Mühlbauer, 2015) durchgeführt. Ergänzend erhalten die Studierenden die Gelegenheit, im Rahmen von Zulassungsarbeiten oder speziellen Seminaren Schülerlabore selbst zu konzipieren und in der Folge auch mit Schulklassen zu erproben.

Die Besonderheit eines **Lernens an außerschulischen Lernorten** ist grundsätzlich, dass es zu einer unmittelbaren und daher authentischen Begegnung mit „Gegenständen und Sachverhalten in ihrer ursprünglichen Situation“ kommt (Köck & Stonjek, 2005). Brovelli et al. (2011) unterscheiden dabei unmittelbare Begegnungen – zum Beispiel mit einem Denkmal oder der freien Natur – und dekontextualisierte Begegnungen wie z. B. in einem Museum oder einem Archiv, in denen man zwar Originalen begegnet, diese aber in einen vorinterpretierten Zusammenhang gestellt sind. Letzteres trifft auch auf Schülerlabore zu, die zwar in einer authentischen Laborumgebung stattfinden und die originale Begegnung mit z. B. Chemikalien oder Wissenschaftlern vorsehen können, bei denen die vermittelten Inhalte – wie oben beschrieben – aber nach bestimmten Kriterien ausgewählt und vorbestimmt sind. Malone (2008) listet als positive Effekte von außerschulischen Lernorten neben besseren Ergebnissen in Bezug auf Fachwissen und Kompetenzerwerb auch verbesserte motorische und soziale Fähigkeiten auf. Sie hebt heraus, dass die Schüler neben einer höheren Aufmerksamkeit ein besseres Selbstkonzept entwickeln. Malones Studien (die sich aber vor allem auf Besuche von Museen oder Exkursionen im Freien beziehen) zeigen also eindeutige positive Effekte solcher außerschulischen Lernorte. Eine verbesserte motorische Kompetenz zum Beispiel in Bezug auf die Handhabung

chemischer Gerätschaften und ein besseres diesbezügliches Selbstkonzept ist auch als Auswirkung von Schülerlaboren denkbar. Auch Brovelli et al. sehen die positiven Effekte von außerschulischen Lernorten auf affektive und kognitive Lernziele als belegt an (2011). Kontrastierend dazu geben Karpa et al. (2015) zu Bedenken, dass der Besuch eines außerschulischen Lernortes auch Herausforderungen für die Lehrkraft birgt und nennen die aufwändige zu leistende Organisation und die Frage nach möglichen Leistungserhebungen im Zusammenhang mit Exkursionen. Der Aufwand, den eine Exkursion eines W- oder P-Seminars an die Universität – zum Beispiel für den Besuch eines Lehr-Lern-Labors – bedeutet, soll im Rahmen dieser Arbeit genauer beleuchtet werden. In Bezug auf die Leistungserhebung ist wohl davon auszugehen, dass diese im Rahmen von Seminar-Besuchen in Schülerlaboren kaum eine Rolle spielt. Denkbar wäre höchstens die Integration von Inhalten des Schülerlabors in eine Leistungserhebung während der Input-Phase im W-Seminar oder die Dokumentation der Exkursion im Portfolio der P-Seminaristen.

Spezifische Studien zu Schülerlaboren als außerschulische Lernorte haben in den letzten Jahren sowohl den Einfluss auf Motivation und Interesse als auch den potenziellen Wissenszuwachs gemessen. Engeln (2004) zeigt auf, dass Schülerlabore das Potenzial haben, das Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken. Bedingung hierfür ist, dass die Schüler beim Besuch des Schülerlabors kognitiv gefordert werden, was vor allem durch eine gut sichtbare Authentizität gelingen kann. Maßgeblich für den nachhaltigen Effekt der Schülerlabore, so zeigt Engeln auf, ist die Einbindung des Besuchs in den normalen Unterricht. Erfolgt dieser, so können Schülerlaborbesuche die Wertschätzung von Naturwissenschaften und Technik und die Offenheit gegenüber ihrer Denk- und Arbeitsweisen bei den Schülern positiv beeinflussen. Bemerkenswert ist dabei, dass im Gegensatz zum Schulunterricht, dem die Jungen positiver gegenüberstehen, als die Mädchen, keine geschlechtsspezifischen Unterschiede in Bezug auf das Schülerlabor bestehen. Dies würden Schülerinnen und Schüler in gleichem Maße gern nochmals besuchen und sind in gleichem Maß positiv durch das Schülerlabor beeinflusst (Engeln, 2004, S. 136-137). Deutlich zeigen die verschiedenen Studien von Engeln, Scharfenberg, Guderian und Glowinski aber auch, dass das Interesse der Schüler am Fach durch einen Schülerlaborbesuch zwar zunächst ansteigt, etwa eine Woche nach dem Besuch aber wieder absinkt (nach Guderian & Priemer, 2008, S. 28). Schülerlabore können die Schüler also *anfixen* (sog. *catch*-Komponente des Interesses), eine Nachhaltigkeit im Interessegewinn am Fach (sog. *hold*-Komponente des Interesses) wird aber nur durch die entsprechende unterrichtliche Einbindung erreicht (Guderian & Priemer, 2008). Wie diese aussehen kann und sollte, muss Gegenstand weiterer Forschungsbemühungen sein. Radits et al. kritisieren, dass Lernsettings wie Schülerlabore kein realistisches Bild des Forschens transportieren. Sie fordern dazu auf, Schülerlabore nicht zu „Events“ werden zu lassen sondern sie als langfristige Lern- und Forschungsgemeinschaften zwischen Schule und Universität bzw. Forschungsinstitution zu gestalten (Radits & Rauch, 2008, S. 6-7). Ob dies für W- und P-Seminare auch gilt, oder der einmalige Besuch einer universitären Veranstaltung ebenso gewinnbringend sein kann, wird in den Kapiteln 6, 7 und 8 dieser Arbeit untersucht.

Kooperationen zwischen Universität und Schule

Auch wenn die oben zitierten verfügbaren Daten quantitativ unterschiedliche Aussagen treffen, gehören die Hochschulen zu den wichtigen Kooperationspartnern für W- und P-Seminare. Es ist davon auszugehen, dass die Universitätsbibliotheken zentraler Anlaufpunkt für die W-Seminare sind, wenn es um die Recherche wissenschaftlicher Hintergründe geht. Weiterhin bieten verschiedene Hochschulen inzwischen Programme für W- und P-Seminare an (FAU; Gesundheitswissenschaft, 2009; Wirtschaftsinformatik, 2013). Kooperationen zwischen Schule und Universität werden unter den Begriffen *Forschungs-Bildungs-Kooperationen FBK* oder *Research Education Cooperation REC* untersucht und in einem Theorierahmen von situiertem Lernen, Inquiry Learning und konstruktivistischen Lerntheorien diskutiert (Radits & Rauch, 2008). Eine besondere Qualität solcher Kooperationen besteht in ihrer Authentizität, die durch die Zusammenarbeit der Schüler mit *echten* Wissenschaftlern und im *echten* Forschungsumfeld universitärer Labore entsteht. Solche authentischen außerschulischen Lernumgebungen helfen besonders beim Aufbau von Wissenschaftskompetenz und schaffen andersartige Lernsituationen, in denen Lernen aus einem Austausch auf gleicher Augenhöhe hervorgeht (Radits & Rauch, 2008, S. 5). Dennoch fragt Irmer (2012) in seinem Editorial zu einem Themenheft über Kooperationen zwischen Schule und Universität kritisch, was eigentlich im Vordergrund stehe – ein echtes Interesse an der Verbesserung naturwissenschaftlicher Bildung oder der „Publicity-Effekt“? Er zeigt auf, dass eine Kooperation zwischen Universität und Schule nur dann langfristig erfolgreich sein kann, wenn eine Win-win-Situation besteht (Irmer, 2012). Im Falle der Lehr-Lern-Labore profitiert die Universität dadurch, dass Lehramtsstudierende die Möglichkeit zum Lehren-Üben erhalten, während die Schüler von der sehr individuellen Betreuung profitieren und durch die authentische Lernumgebung motiviert werden. In Bezug auf alle in dieser Arbeit beschriebenen Kooperationen gilt, dass die Schüler früh die Universität in einem positiven Zusammenhang kennenlernen, um die Studienmöglichkeiten an der Fakultät wissen und gegebenenfalls Anregungen für ein späteres eigenes Studium erhalten. Die Lehrkräfte haben in diesem Rahmen direkten Kontakt zu Fachwissenschaftlern und Didaktikern und beide Seiten können vom Austausch profitieren. Insofern kann für die in dieser Arbeit beschriebenen Kooperationsformen zwischen Seminaren und Universität von einem positiven Effekt für die Schüler ausgegangen werden. Welche Herausforderungen eine solche Kooperation aber für die Lehrkräfte bedeutet und welche weiteren Anforderungen an ihre professionelle Kompetenz sie bei der Durchführung von W- und P-Seminaren gerecht bewältigen müssen, wird in der im nächsten Kapitel beschriebenen Studie untersucht.

4. Qualitative Exploration

4.1. Ziel der Untersuchung

Wie in den vorhergehenden Kapiteln aufgezeigt, ordnen sich die bayerischen W- und P-Seminare in das bekannte gymnasiale System ein und zeigen inhaltliche und organisatorische Parallelen zu ähnlichen wissenschaftspropädeutischen Kursen weltweit. Sie stellen gleichzeitig aber auch neue Unterrichtsformen dar, die in dieser Ausprägung im deutschsprachigen Raum so bisher nicht bekannt waren und zu denen es bis heute nur wenige Untersuchungen gibt – besonders in Bezug auf die Perspektive der Lehrkräfte.

Mit dem 1. August 2008 traten die neuen Regelungen für die ab dann als Qualifikationsphase bezeichnete Oberstufe in Bayern in Kraft. Die Lehrkräfte mussten damit W- und P-Seminare anbieten, die im Herbst 2008 erstmals von den Lernenden gewählt wurden. Im Herbst 2009 trat der erste Schülerjahrgang am achtjährigen Gymnasium (G8) in die Klasse 11 ein und belegte die Seminare. Dieser Jahrgang absolvierte sein Abitur parallel zum letzten G9-Jahrgang, womit im Frühjahr 2011 der so genannte *doppelte Abiturjahrgang* das Gymnasium abschloss.

Die vorliegende Untersuchung begann im August 2010 und umfasst damit den ersten Abiturjahrgang, der regulär das G8 durchlief sowie darauffolgende Jahrgänge. Erforscht werden sollte, welche neuen didaktischen und organisatorischen Herausforderungen durch W- und P-Seminare für Chemie-Lehrkräfte an bayerischen Gymnasien entstanden. Im Sinne einer Ersterkundung des Untersuchungsfeldes wurden die Lehrkräfte in offenen Leitfadeninterviews befragt und die Daten per Qualitativer Inhaltsanalyse in Anlehnung an Mayring (Mayring & Gläser-Zikuda, 2008) ausgewertet.

4.2. Theoretische Verortung der Methodik

In den letzten Jahrzehnten haben sich zwei grundsätzliche Perspektiven für die Sozialforschung im Generellen differenziert und so unterscheidet man auch in der Bildungsforschung quantitative und qualitative Forschungsansätze mit ihren jeweiligen Methoden. Raithel (2008) stellt diese zwei Ansätze kompakt gegenüber und hebt heraus, dass quantifizierende Ansätze soziale Gegebenheiten einer statistischen Analyse zuführen und „Hypothesen über Zusammenhänge zwischen verschiedenen Variablen an der Realität [...] überprüfen“. Im Gegensatz dazu verzichtet qualitative Forschung auf mathematische Abstraktion. Sie will vielmehr „die besonderen Eigenschaften und Merkmale (also die Qualität im Sinne der Beschaffenheit) eines sozialen Feldes möglichst genau, differenziert und gegenstandsnah erfassen“ und

erschließt diese über die Perspektive des in dem Feld Handelnden (Raithel, 2008, S. 8). Quantitative Forschung beruht danach darauf, relevante Variablen zu überprüfen. In einem *neuen* Themenfeld aber ist zunächst gar nicht bekannt, welche Variablen relevant sind bzw. welche überprüfbaren Aspekte es vielleicht geben kann. Genau dies kann aber ein qualitativer Forschungsansatz leisten. Um also relevante Aspekte im Zusammenhang mit den kaum beforschten bayerischen Seminarfächern zu detektieren, wurde für die vorliegende Arbeit eine qualitative Perspektive gewählt.

4.3. Qualitativer Ansatz

Eine Methode, die sich in jüngster Vergangenheit im deutschsprachigen Raum für Sozial- und Humanwissenschaften etabliert und bewährt hat, ist die **Qualitative Inhaltsanalyse** in Anlehnung an Mayring (Mayring, 2010; Mayring & Gläser-Zikuda, 2008). Mit ihr lassen sich Sinnstrukturen in schriftlichem Material oder aus mündlichen Berichten durch das regelgeleitete Befolgen festgelegter methodischer Prinzipien herausarbeiten. Zusammenfassend soll eine Inhaltsanalyse:

- „*Kommunikation* analysieren,
- *fixierte* Kommunikation analysieren,
- dabei *systematisch* vorgehen,
- dabei also *regelgeleitet* vorgehen,
- dabei auch *theoriegeleitet* vorgehen [und]
- das Ziel verfolgen, *Rückschlüsse auf bestimmte Aspekte der Kommunikation* zu ziehen“ (Mayring & Gläser-Zikuda, 2008, S. 13).

Um ein erstes wissenschaftlich fundiertes Bild der Seminarfächer in Bayern zu gewinnen, musste demnach zunächst festgelegt werden, welche Kommunikation gesucht und welche Aspekte der Kommunikation betrachtet werden sollten. Wer kann sich qualifiziert und somit gewinnbringend zu Seminarfächern äußern? Im Hinblick auf die didaktische Richtung der Fragestellung wurde davon ausgegangen, dass die unmittelbar am Unterricht beteiligten, also Lehrkräfte und Lernende die qualifiziertesten Aussagen machen können. Somit wurde zunächst eine Befragung dieser Personengruppen angestrebt. Durch administrative Vorgaben des Bayerischen Kultusministeriums wurde die Richtung der Analyse weiter eingengt auf die Sichtweise der Lehrkräfte.

Die Haltung und Meinungen der Chemie-Lehrer, also „die Perspektive der Handelnden“ (Raithel, 2008) kann nach Patton (2002, S. 4) grundsätzlich auf drei Weisen gewonnen und festgehalten werden, nämlich durch ausführliche und ergebnisoffene Interviews, durch direkte Beobachtung oder aus schriftlichen Dokumenten. Dabei erbringen diese Methoden naturgemäß unterschiedliche Ergebnisse (Patton, 2002, S. 4). Für die vorliegende Fragestellung ist eine direkte Beobachtung wenig geeignet, denn es soll ja keine *Interpretation* des *Lehrerverhaltens*

erreicht, sondern die Sicht der Lehrkräfte offengelegt werden. Außerdem sollte auch auf bisherige Erfahrungen der Lehrkräfte zurückgegriffen werden können und nicht nur aktuell Laufendes beobachtet werden. Auch eine schriftliche Befragung war hier wenig zielführend, da sie einerseits für die Lehrkräfte eine größere Belastung darstellt, andererseits weniger flexibel ist und schließlich nur bedingt ein Nachfragen erlaubt. Organisatorisch gut realisierbar und entsprechend offen in Bezug auf die Antworten der Lehrkräfte ist hingegen die Durchführung von Interviews. Damit ist festgelegt, welche Art von Material gewonnen und bearbeitet werden sollte. Nach Mayring ist dies der erste Schritt einer Inhaltsanalyse (2010, S. 60). Es folgen die Analyse der Entstehungssituation und die Festlegung auf formale Charakteristika des Materials. Als letzte Schritte erfolgt die Festlegung der Richtung der Analyse und die Formulierung der Fragestellung vor dem Hintergrund der dazugehörigen Theorie. Die entsprechenden Schritte der vorliegenden Studie werden in den nächsten Abschnitten theoriebezogen beschrieben:

4.3.1. Spezifizierung der Interviews

In der Literatur werden im Rahmen qualitativer Studien verschiedenste Typologien von und Methoden für Interviews beschrieben. Heinze listet eine ganze Reihe von Begrifflichkeiten auf und fasst diese mit dem „neutralen Terminus“ *offenes Interview* zusammen. Er grenzt diese offenen Interviews gegen standardisierte Interviews ab und beschreibt sie als stärker durch den Befragten geprägt. Das offene Interview „nötigt also den Befragten zu eigenen Antwortformulierungen und fordert ihn zu längeren Antworten auf“ (Heinze, 2001, S. 153). Darüber hinaus betont Patton als Vorteil offener Befragungen, dass es besser gelingt, die Meinung der anderen Person vorurteilsfrei einzufangen. Die Antworten werden nicht durch vorsortierte Fragebogen-Kategorien angebahnt, sondern geben ausschließlich die Perspektive des Befragten wieder (Patton, 2002, S. 21). Die Stärke offen gestalteter Interviews ist also die Unvoreingenommenheit, mit der an ein Thema herangegangen werden kann – eine Qualität, die entsprechend der Fragestellung der Studie einerseits unbedingt erwünscht war. Andererseits sollte sichergestellt werden, dass die befragten Lehrkräfte sich tatsächlich zu allen relevanten Aspekten ihres Unterrichts in den Seminarfächern äußern. Ein rein narratives Interview ist hierfür nicht geeignet. Eine möglichst geringe, aber dennoch zielgerichtete und planmäßige Führung der Interviews schien somit sinnvoller. Gläser und Laudel (2010, S. 41) systematisieren Interview-Formen in der Sozialforschung wie folgt:

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1) Standardisiertes Interview | Fragen vorgegeben, Antworten vorgegeben |
| 2) Halbstandardisiertes Interview | Fragen vorgegeben, Antworten frei |
| 3) Nichtstandardisiertes Interview | Weder Fragen noch Antworten vorgegeben |

Während das standardisierte Interview eine Methode quantitativer Sozialforschung ist, zählen halb- bzw. teil- und nichtstandardisierte Interviews zu den qualitativen Erhebungsmethoden. Abgeleitet von den oben beschriebenen Überlegungen wurde für die vorliegende Studie eine **teilstandardisierte** Interviewform gewählt.

Wie an den Formulierungen *halbstandardisiert* oder *teilstandardisiert* deutlich wird, ist die Benennung der in ihrem Ansatz oft sehr ähnlichen Interview-Methoden nicht einheitlich. Während Heinze das offene Interview generell dem standardisierten gegenüberstellt, nennen Gläser und Laudel offene Interviews als eine Unterform nichtstandardisierter Interviews. Offene Interviews sind danach solche, „die zwar mit vorgegebenen Themen arbeiten, aber nicht durch einen für alle Interviews verbindlichen Leitfaden unterstützt werden“ (Gläser & Laudel, 2010, S. 42). Mayring hingegen verwendet den Begriff *offen* für die Methode des „Problemzentrierten Interviews“, für das er aber im Gegensatz zur Definition von Gläser und Laudel einen Interviewleitfaden vorsieht (Mayring, 2002, S. 67). Da die Begrifflichkeiten nicht einheitlich definiert sind, wird im Folgenden vor allem der Begriff *teilstrukturiert* bzw. *teilstandardisiert* verwendet und der Begriff *offen* als umgangssprachlich angesehen und dem entsprechend benutzt werden.

Patton zeigt auf, dass ohne die Verwendung eines Leitfadens (also in einem nicht standardisierten Interview) die Gefahr entsteht, dass sich nicht alle Befragten zu den gleichen Bereichen äußern. Will man dies aber sicherstellen, so verwendet man einen Leitfaden für das Interview. „Ein Interviewleitfaden enthält die Fragen, die in jedem Interview beantwortet werden müssen. Allerdings sind weder die Fragenformulierungen noch die Reihenfolge der Fragen verbindlich“ (Gläser & Laudel, 2010, S. 42). Leitfadeninterviews empfehlen sich immer dann,

- „wenn in einem Interview mehrere unterschiedliche Themen behandelt werden müssen, die durch das Ziel der Untersuchung und nicht durch die Antworten des Interviewpartners bestimmt werden, und
- Wenn im Interview auch einzelne, genau bestimmbare Informationen erhoben werden müssen“ (Gläser & Laudel, 2010, S. 110).

Im vorliegenden Fall musste sichergestellt werden, dass die Lehrkräfte sowohl über P- als auch über W-Seminare sprachen – unabhängig davon, welches Seminar sie selbst gerade durchführten. Weiterhin sollte die Vorerfahrung der Lehrkraft nach Möglichkeit mit abgebildet werden. Somit wurde im Vorfeld der Untersuchung ein Leitfaden für die geplanten teilstandardisierten Interviews der Lehrkräfte erstellt.

4.3.2. Entwicklung und Anpassung des Interviewleitfadens

Nach Gläser et al. muss ein Interviewleitfaden auf der Grundlage des Erkenntnisinteresses entwickelt werden. Dieses manifestiert sich a) in der Forschungsfrage, b) in den Einflussfaktoren und ihrer Verknüpfung und c) in einem hypothetischen Modell (Gläser & Laudel, 2010, S. 143).

Die Forschungsfrage

Am Anfang dieser Studie stand zunächst die Frage: „Welchen Beitrag kann die Universität zu W- und P-Seminaren leisten?“. Dabei wurde deutlich, dass hierfür zunächst eine grundlegende Darstellung der Seminarfächer und des *Status quo* erfolgen muss, die bisher nicht existiert. Daraus ergeben sich zusätzliche Fragestellungen:

- In welchen Belangen der Unterrichts-Struktur unterscheiden sich die Seminarfächer vom *klassischen* Unterricht?
- Welche zusätzlichen Dimensionen können sie liefern?
- Welche Bereiche stellen sich als didaktisch und organisatorisch problematisch dar?

Die Einflussfaktoren

Welche Faktoren einen maßgeblichen Einfluss auf Chemieunterricht haben, kann aus allgemeiner pädagogischer Literatur (z. B. G. Becker et al., 2007; Helmke, 2010; Meyer, 2011; Voß, 2005) sowie Standardwerken der Chemie-Didaktik (Anton, 2008; Barke & Harsch, 2001; Demuth, 2009; Kometz, 1998; Pfeifer et al., 2002; Sumfleth, 2004) ermittelt werden. Primär wird hier vom Angebots-Nutzungs-Modell nach Helmke ausgegangen (Helmke, 2010). Da durch die Aussagen der Lehrkräfte absehbar nur über Teile der im Modell aufgezeigten Bedingungsstrukturen Informationen gewonnen werden kann, wurden nur die Bereiche *Lehrperson*, *Unterricht* und *Kontext* berücksichtigt (Abbildung 12, blau umrahmter Bereich). Der Kontext wurde vor allem im Hinblick auf die externen Partner und die Rolle der Universität mit einbezogen.

Das hypothetische Modell

In Kombination mit Aspekten aus oben genannter Literatur wurde unter dem Gesichtspunkt, dass die Lehrkraft im Mittelpunkt der Studie stehen sollte, ein Konzept von für die Seminarfächer relevanten Aspekten guten Unterrichts, also ein hypothetisches Modell erstellt (Abbildung 13).

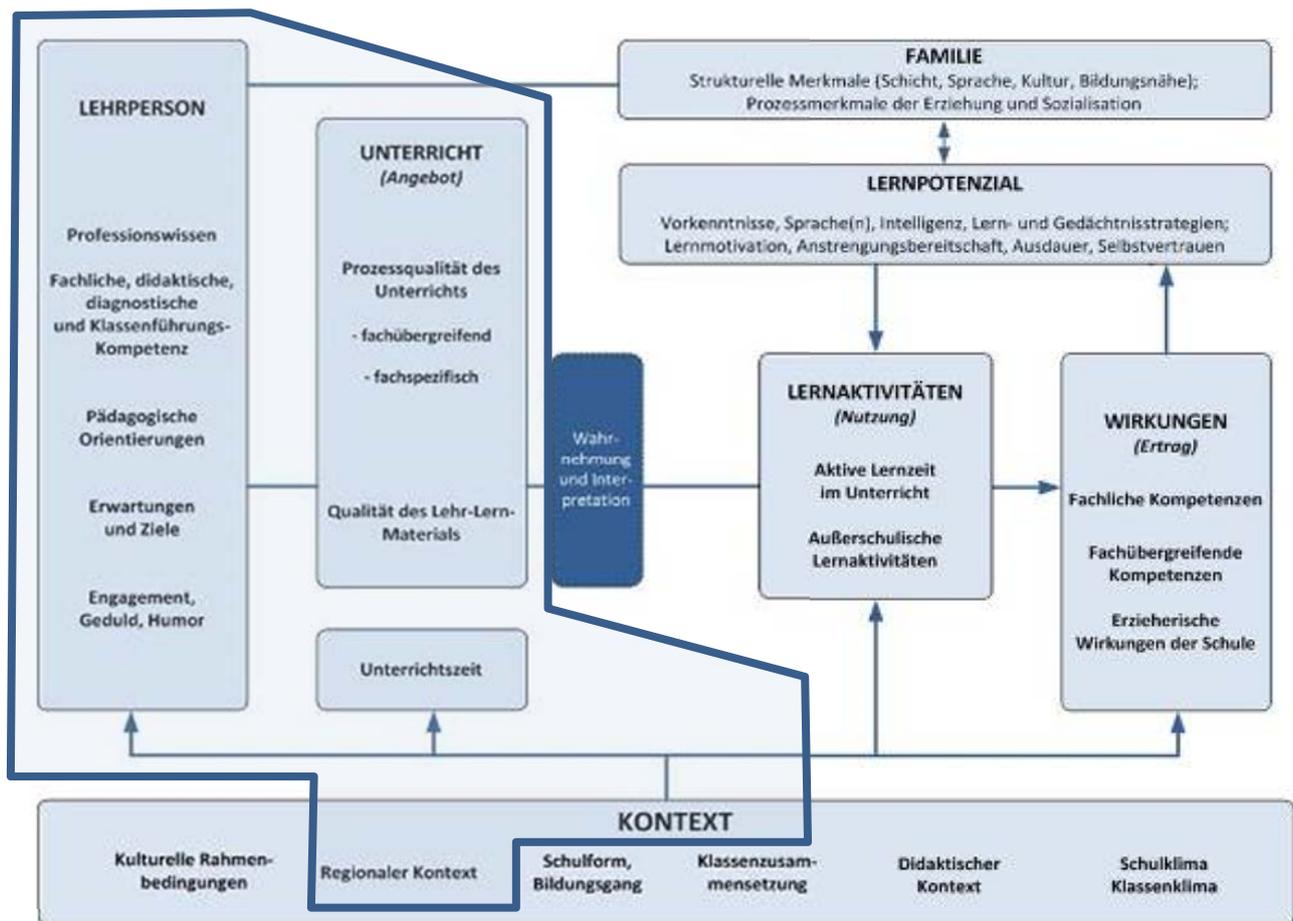


Abbildung 12: Betrachteter Ausschnitt aus dem Angebots-Nutzungs-Modell nach Helmke (2010)

Daraus ergeben sich die Aspekte, zu denen jeweils Fragen an die Lehrkräfte formuliert wurden. Hierzu gehören zum Beispiel:

- Umgang mit Heterogenität
=> Wie sind Sie mit dem unterschiedlichen Vorwissen umgegangen, mit dem die SuS in Ihr Seminar kamen?
- Transparente Leistungserwartungen
=> Inwiefern haben Sie den SuS im Vorfeld mitgeteilt, was auf sie zukommt und was sie leisten müssen?
- Pädagogisch-psychologisches Wissen über Lernprozesse
=> Kann das Seminar bei den SuS besser Neugierde wecken, als klassischer Chemieunterricht (CU)? Wenn ja, Warum?

Diese Fragen wurden in die Leitfäden für die Befragung der Lehrkräfte am Anfang, in der Mitte und am Ende der untersuchten Seminare aufgenommen.

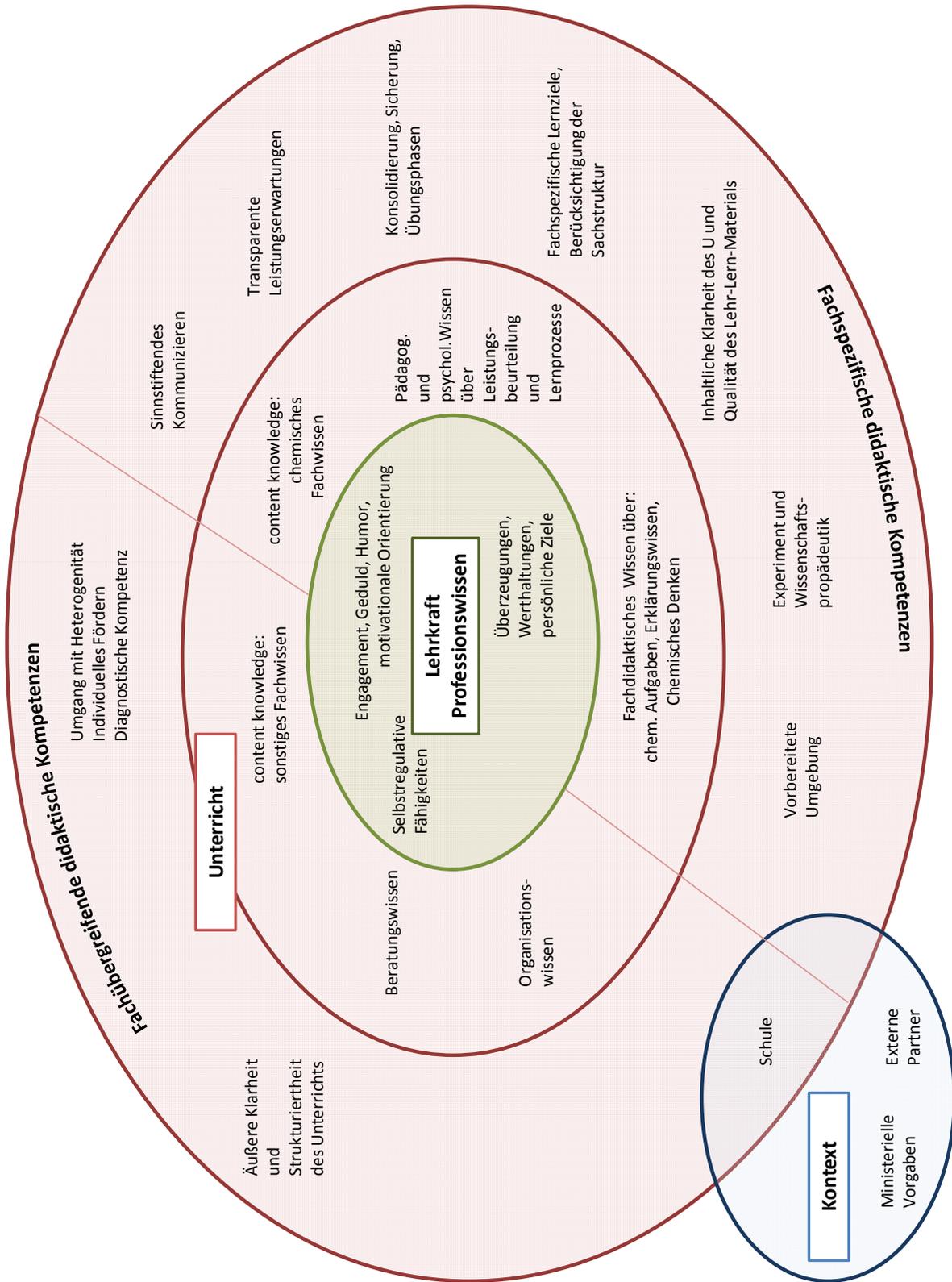


Abbildung 13: Hypothetisches Modell *Guten Unterrichts* in Chemie-Seminarfächern

Anpassung des Leitfadens

Ein Leitfaden wird im eigentlichen Interview nur selten so benutzt, wie er ursprünglich entwickelt wurde. Zum einen gehört es zur Natur eines teilstandardisierten Interviews, dass die Fragen zwar möglichst vollständig abgearbeitet werden, der Verlauf aber maßgeblich vom Befragten und seinen Antworten vorgegeben wird (Gläser & Laudel, 2010, S. 150). Zum anderen ist es einer explorativen Studie eigen, dass die einzunehmende Perspektive ein Stück weit erst entwickelt wird. Damit ist eine Anpassung des Interviewleitfadens vorgeprägt. „Gegen die Anpassung der Interviewleitfäden könnte eingewendet werden, dass sie einen weiteren Teil der Standardisierung preisgibt. Dieser Einwand wäre berechtigt, wenn der Interviewleitfaden die Aufgabe hätte, zur Standardisierung der Interviewsituation beizutragen. Das ist aber gar nicht der Fall. Der Interviewleitfaden soll vielmehr sicherstellen, dass in allen Interviews bestimmte Informationen erhoben werden“ (Gläser & Laudel, 2010, S. 150). Dem entsprechend wurde auch in der vorliegenden Studie der Interviewleitfaden mehrfach überarbeitet – zunächst auf der Grundlage der Pilotstudie und dann zwischen dem ersten Interviewdurchgang und dem zweiten, als deutlich wurde, dass der beabsichtigte Längsschnitt nicht würde abgebildet werden können:

Horizontaler Längsschnitt

Ursprünglich bestand die Absicht, die horizontale Entwicklung der Haltung der Lehrkräfte abzubilden. Somit wurden drei unterschiedliche Versionen des Fragenkatalogs ausgearbeitet, um die Lehrkräfte in der Vorbereitungsphase des Seminars, in der Mitte und am Ende des Seminars zu befragen. Der Anfangsfragebogen enthielt zum Beispiel die Frage, wie es dazu kam, dass die Lehrkraft ein Seminar übernahm oder wie sie sich auf das Seminar vorbereitet hat. Rückblickend wurden die Lehrkräfte dagegen gefragt, was sie im nächsten Seminar anders machen würden. Leider stellte sich im Verlauf heraus, dass in der Erhebungszeit einige der Lehrkräfte weitere Seminare parallel zum betreuten übernahmen, sodass eine eindeutige Zuordnung der Aussagen zum begleiteten Seminar nur noch schwer möglich war. Aus diesen Erfahrungen heraus wurde ein Leitfaden für die Befragung am Anfang eines Seminars (Leitfaden 1; LF1) und einer für die Befragung gegen Ende der Seminare (Leitfaden 2; LF2) konzipiert und eingesetzt.

Ablaufmodell der Studie

Das konkrete Ablaufmodell der vorliegenden Studie ist in Abbildung 14 schematisch dargestellt. Im Rahmen des Interviewleitfadens sollte erfragt werden, in welchen Belangen sich die Seminarfächer vom klassischen Chemieunterricht unterscheiden, welche zusätzlichen Dimensionen sie liefern können und welche Bereiche sich als

didaktisch und organisatorisch problematisch darstellen. Die ersten Interviews und damit die Gewinnung des Materials begannen im September 2011.

Interviewsituation

Für den Verlauf solcher Gespräche ist die konkrete Interviewsituation entscheidend. So verändert es zum Beispiel die Befragung maßgeblich, ob ein oder zwei Interviewer das Gespräch führen. Für beide Varianten lassen sich Vor- und Nachteile formulieren (Gläser & Laudel, 2010, S. 154-155). In der vorliegenden Studie wurde aus ökonomischen Gründen die Variante mit nur einem Interviewer gewählt. Die gleichen Gründe beeinflussten die Auswahl der Stichprobe, Auswahl der Erhebungsmodi (Telefonumfrage, persönliche oder schriftliche Befragung, etc.), Größe des Codier-Teams oder Anzahl der Zweitcodierer.

Jedes Interview ist als Kommunikationsprozess zu sehen. Im Gegensatz zu einem Alltagsgespräch gibt es eine Asymmetrie in den Rollen: „Dass der Fragende ein Informationsziel in das Interview einbringt, bestimmt die Inhalte der Rollen. Es gehört zur Rolle des Interviewers, das Gespräch zu steuern und mit seinen Fragen dafür zu sorgen, dass der Interviewpartner die gewünschten Informationen gibt. Zur Rolle des Interviewpartners gehört es, den Signalen und Aufforderungen des Interviewers zu folgen und die gewünschten Informationen zu geben“ (Gläser & Laudel, 2010, S. 112). Damit wird deutlich, dass die Person des Interviewers für den Verlauf des Interviews ebenfalls maßgeblich ist. Deshalb soll zur weiteren Klärung des Vorverständnisses der Untersuchung kurz auf die an der Studie beteiligten Personenkreise eingegangen werden.

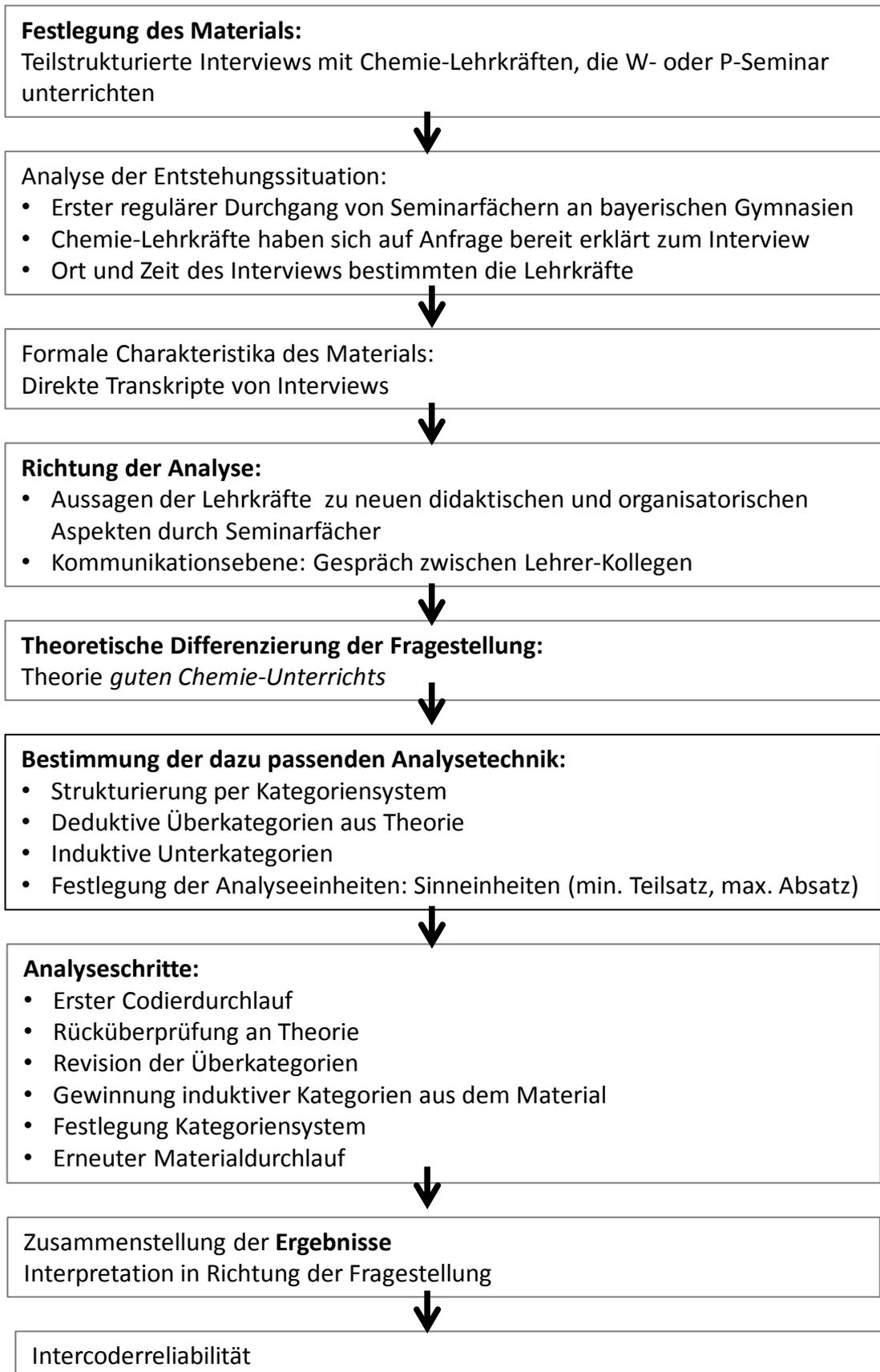


Abbildung 14: Erstes Ablaufmodell der Studie

4.3.3. Beteiligte Personen

Wissenschaftler

Die Betrachtungen der Autorin basieren auf über 15 Jahren Erfahrung mit Chemieunterricht an sechs verschiedenen Gymnasien, davon sieben Jahre als Lehrkraft in Bayern und Brandenburg, vier Jahre als Lehrkraft an der Universität in der Ausbildung von Chemie-Lehrern und insgesamt zehn Jahren Tätigkeit in der Lehrer-Fortbildung. Das Vorverständnis zu bayerischen W- und P-Seminaren wurde auf der Grundlage einer ersten Online-Umfrage an über 300 bayerischen Gymnasien (Antworten: N=14) und der im Vorfeld und in der Pilotstudie geführten Gespräche mit neun Lehrkräften gewonnen. Darüber hinaus erfolgten Telefonate mit dem Autor der maßgeblichen Veröffentlichung des Staatsinstituts für Schulqualität und Bildungsforschung München, Günter Manhardt³⁷ und dem Projektkoordinator für die Oberstufenreform, Martin Wunsch³⁸.

Das Kategoriensystem wurde zunächst von der Autorin entwickelt und überarbeitet und schließlich in unten beschriebener Weise im Diskurs mit verschiedenen Personengruppen sowie einem Zweitcodierer validiert. Die Zweitcodierung erfolgte durch eine weitere bayerische Gymnasial-Lehrkraft für Chemie und Biologie. Die Lehrkraft verfügt über acht Jahre Berufserfahrung an vier Gymnasien in Bayern und hatte zum Zeitpunkt der Zweitcodierung bereits selbst Erfahrung mit der Durchführung von drei W- und einem P-Seminar. Somit kann von einem ähnlichen Wissensstand der beiden Codierer ausgegangen werden.

Die konkrete methodische Vorgehensweise sowie das Kategoriensystem wurde während des gesamten Studienverlaufs im Diskurs in den Arbeitskreisen der Didaktiken der Chemie der Universitäten Würzburg und Erlangen-Nürnberg sowie im Rahmen des Doktorierenden-Kolloquiums des M!ND-Center Würzburg (Leitung Dr. S. Kuger, DIPF) entwickelt. Weiterhin erfolgten Beratungen durch externe Experten (Coaching-Maßnahme Prof. Dr. H. Reinders, Universität Würzburg; Beratungsgespräch Prof. Dr. C. Nerdel, TUM School of Education; Doktorierenden-Kolloquium Universität Jena, Prof. Dr. M. Gläser-Zikuda; Methodenworkshop, Prof. Dr. M. Gläser-Zikuda; Summer School 2016, Erfurt School of Education)³⁹.

³⁷ Persönliches Telefonat 10.11.2010

³⁸ Persönliches Telefonat 16.11.2010

³⁹ Weitere maßgebliche Gespräche fanden statt mit: Prof. Dr. A. Borowski, Universität Potsdam; Dr. K. Lohwasser, University of Washington.; Dr. Stefan Rädiker, Philipps-Universität Marburg; Dr. J. Seiz, Universität Frankfurt/M; Prof. Dr. O. Tepner, Universität Regensburg.

Interviewpartner und Stichprobe

Die Auswahl der Interviewpartner war insofern begrenzt, da im Untersuchungszeitraum nicht alle Schulen W- und / oder P-Seminare im Fach Chemie anboten. Weiterhin ergaben sich die untersuchten Schulen über die Erreichbarkeit und befanden sich somit alle im Regierungsbezirk Unterfranken.

Von den elf interviewten Lehrkräften haben neun eine online durchgeführte, anonyme Rückmeldung zur eigenen Person gegeben. Die Befragten verfügten demnach über verschieden lange Berufserfahrung als Lehrkraft:

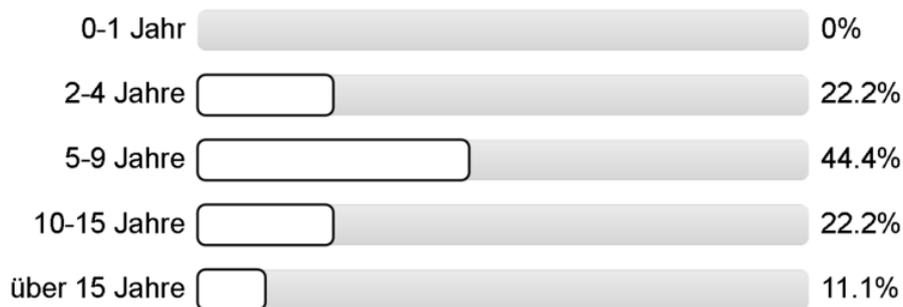


Abbildung 15: Berufserfahrung der befragten Lehrkräfte

Die Daten deuten demnach eine ansatzweise Normalverteilung in Bezug auf die Berufserfahrung der Lehrkräfte an. Nach eigenen Angaben verfügten fünf der interviewten elf Befragten über **Vorerfahrungen mit dem Unterricht in Seminarfächern** bevor sie erstmals befragt wurden⁴⁰, sechs der Befragten hatten keine Vorerfahrung. Hinweise auf die wissenschaftspropädeutischen Vorkenntnisse der befragten Lehrkräfte kann eventuell ihr eigener akademischer Werdegang geben: Keiner der Lehrkräfte ist promoviert, aber alle Befragten haben ihre Zulassungsarbeit in der Fachwissenschaft (und nicht in der Pädagogik oder der Didaktik) angefertigt. 77,8% dieser Lehrkräfte gaben an, dabei in einem wissenschaftlichen Arbeitskreis eingebunden gewesen zu sein. In Bezug auf die W-Seminare sind die Vorerfahrungen der Lehrkräfte bei der **Betreuung wissenschaftlicher Arbeiten** von Interesse. In diesem Zusammenhang gab nur ein Befragter an, bisher selbst Referendare bei ihrer Hausarbeit betreut zu haben.

In Bezug auf **Vorerfahrungen aus der Berufswelt** gaben nur etwa die Hälfte der Befragten an, über Vorerfahrungen zur Bewerbung für einen Beruf zu verfügen (Tabelle 9). Nur ein Befragter hat in einem anderem als dem Lehrerberuf gearbeitet.

⁴⁰Diese Lehrkräfte hatten entweder am Schulversuch zu den Seminarfächern teilgenommen oder hatten während des doppelten Abiturjahrgangs, also im Jahr vor der hier vorgelegten Studie bereits Seminare übernommen.

Bitte beschreiben Sie Ihre beruflichen Erfahrungen über das Lehrer-Sein hinaus mit Hilfe der untenstehenden Optionen. Mehrfachantworten sind erlaubt!	
Ich habe keine berufliche Erfahrungen über das Lehrer-Sein hinaus.	55,6%
Ich habe in meinem Leben schon mal selbst eine Bewerbung schreiben müssen.	66,7%
Ich habe mich in meinem Werdegang in einem Bewerbungsgespräch vorstellen müssen.	55,6%
Ich habe berufliche Erfahrungen über den Lehrer-Beruf hinaus.	22,2%

Wenn Sie die letzte Frage mit "ja" beantwortet haben, dann spezifizieren Sie hier bitte Ihre beruflichen Erfahrungen. Ansonsten lassen Sie die Frage bitte weg. Mehrfachantworten sind erlaubt.	
Ich habe noch eine weitere Ausbildung abgeschlossen (über den Lehrer-Beruf hinaus).	11,1%
Ich habe 1-2 Jahre in einem anderen als dem Lehrer-Beruf gearbeitet.	33,3%
Ich habe zwischen 2 und 5 Jahre in einem anderen Beruf gearbeitet.	0,0%
Ich habe über 5 Jahre Berufserfahrung in einem anderen als dem Lehrer-Beruf.	0,0%

Tabelle 9: Vorerfahrungen der interviewten Lehrkräfte aus der Berufswelt

4.3.4. Eckdaten der Studie

Die **Vorgespräche** für die Studie begannen im September 2010. Mit sechs Lehrkräften, die in der Schulversuchs-Phase bereits Erfahrungen mit Seminarfächern gesammelt hatten und die vom Kultusministerium zum Teil als Multiplikatoren für das Thema ausgebildet waren, wurden Vorgespräche im Sinne offener Interviews geführt (vier P-Seminare, zwei W-Seminare). Hierzu wurden handschriftliche Notizen während und nach den Gesprächen angefertigt. Auf diese Weise wurden Themenfelder identifiziert, die von den befragten Lehrkräften in Bezug auf die Seminarfächer als relevant angesehen wurden. Diese Themenfelder wurden theoriebasiert zum ersten Entwurf eines Leitfadens umgesetzt.

Von April 2011 bis Juli 2011 wurden die drei Interviews der **Pilotstudie** zur Testung des Interviewleitfadens geführt. Zwei der Lehrkräfte hatten gerade ein P-Seminar abgeschlossen, eine Lehrkraft ein W-Seminar. Alle drei Interviews der Pilotstudie wurden digital aufgezeichnet. Für die eigentliche Studie wurde der Leitfaden entsprechend der oben beschriebenen Prämissen (Forschungsfrage, hypothetisches Modell) auf der Grundlage der Pilotstudie nochmals geringfügig überarbeitet. Danach folgte der **Erhebungszeitraum** von September 2011 bis November 2013.

Die beteiligten neun Schulen befanden sich alle im Regierungsbezirk Unterfranken. Aus zwei **Schulen** kamen je zwei Befragte, die jeweils entweder ein P- oder ein W-Seminar betreuten. Vier der Schulen befinden sich in Orten unter 20.000 Einwohner, fünf in Städten mit mehr als 20.000 Einwohnern (davon drei über 50.000 Einwohner). Sechs der neun Schulen haben eine Fachhochschule oder eine Universität in 25 km Fahrdistanz, was für die Frage nach möglichen externen Partnern interessant ist. Es wurden elf Lehrkräfte in 16 Interviews befragt. Die vier in der Studie untersuchten W-Seminare wurden über den gesamten Zeitraum von drei Semestern begleitet und die Lehrkräfte jeweils am Anfang und am Ende interviewt. Bei den P-Seminaren war dies nicht möglich. Hier wurden insgesamt ebenfalls acht Interviews geführt (Tabelle 10). Alle der insgesamt 23 **Interviews** (Vorgespräche 6, Pilotstudie 3, Studie 16) fanden – bis auf zwei Fälle – in den Schulen statt. Nur bei einem Interview war eine weitere Person, nämlich ein über eine Zulassungsarbeit beteiligter Studierender anwesend. Ein Interview wurde an die Universität und eines in Privaträume verlegt. Alle anderen in die Chemie-Vorbereitungen oder Sprechzimmer der beteiligten Schulen.

Tabelle 10: Übersicht über die geführten Interviews

W/ P	Thema	Interview Leitfaden 1	Interview Leitfaden 2 (+1) ⁴¹
W1	Chemie in der Küche	30.9.2011 LF1-W1	13.11.2012 LF2-W1
W2	Chemie beim Kochen, Backen , Braten	06.10.2011 LF1-W2	11.12.2012 LF2-W2
W3	Chemie mit Haut und Haaren	1.9.2011 LF1-W3	26.11.2012 LF2-W3
P4/ W4	Chemie-Show/ Lebensmittelanalytik	22.11.2011 LF1-P4	12.11.2012 LF2-W4
P1	Chemie-Show	2.9.2011 LF1-P1	
P2	Schau-Chemie		28.1.2013 LF1u2-P2
P3	Chemie-Show	27.9.2011 LF1-P3	21.01.2013 LF2-P3
P5	Chemie-Show	20.10.2011 LF1-P5	
P6	Chemie in der Grundschule		13.9.2013 LF1u2-P6
P7	Erstelleneines Handbuches für das BCP-Praktikum		19.09.2013 LF1u2-P7
P8	Chemie im Kindergarten		13.11.2013 LF1u2-P8

⁴¹Wie im Text erläutert (siehe4.3.6) wurde bei P-Seminar-Lehrkräften, die nur am Ende interviewt wurden, der Leitfaden 2 verwendet, dem aber vier Einstiegsfragen aus Leitfaden 1 vorangestellt wurden.

4.3.5. Interviewleitfaden 1

Der für die Interviews am Anfang der jeweiligen Seminare genutzte Interviewleitfaden1 (Abbildung 16) enthält 17 Fragen, die zwar thematisch sortiert angeordnet sind, aber nicht zwingend in dieser Reihenfolge gestellt wurden.

Befragte/r:	Zeitpunkt Seminar: Anfang	Datum:
-Seminar	Thema:	
Schule:	Art der Kooperation:	
<p>Äußere Organisation und Situation an der Schule Wie Sind Sie dazu gekommen, ein Seminar zu übernehmen? Wie haben Sie zu einem Thema gefunden? Wie läuft die Verteilung der SuS auf die Seminare an Ihrer Schule ab?</p> <p>Seminare allgemein Wie haben Sie sich über das Konzept der Seminare informiert? Ihre Kritik am Konzept der W- bzw. P-Seminare? Ihr Lob?</p> <p>Planung und Organisation des Seminars Wie gehen Sie bei der Planung vor? Welche neuen didaktischen Herausforderungen stellen sich Ihnen und wie wollen Sie sie lösen? Welche organisatorischen Probleme haben Sie mit dem W-/P-Seminar? Welche inhaltlichen Probleme ergeben sich? Was möchten Sie bisher zum zeitlichen Aufwand für das Seminar sagen? Glauben Sie, dass im W-Seminar / P-Seminar die vom Konzept angestrebten Kompetenzen bei den Schülern erreicht werden? Warum?</p> <p>Kooperation mit der Uni Welche Kooperationspartner haben Sie für Ihr Seminar angedacht? Welchen Beitrag erhoffen Sie sich von der Universität? Wie könnte die Kooperation mit der Universität aussehen?</p> <p>Welche Frage hätte ich Ihnen noch stellen sollen und was wäre Ihre Antwort darauf?</p>		

Abbildung 16: Leitfaden 1

4.3.6. Interviewleitfaden 2

Die weiteren beiden Leitfaden-Entwürfe (*Mitte* und *Ende*) wurden zum Leitfaden 2 kombiniert (Abbildung 17). Die Verwendung verschiedener Leitfäden ist deshalb notwendig, weil die Lehrkräfte am Anfang nach ihrer Vorbereitung auf die Seminare gefragt wurden, was für den Abschluss der Seminare keine sinnvolle Fragestellung wäre. Andererseits sollten sich die Lehrkräfte am Ende des Seminars im Rückblick äußern. Da es für die Rückschau eine Rolle spielte, ob ein W- oder ein P-Seminar durchgeführt wurde, bestand der zweite Leitfaden aus einem Hauptteil mit allgemeinen Fragen und einem kurzen Abschnitt von fünf bzw. sechs Fragen, der spezifisch auf W- oder P-Seminare abzielt. Je nachdem, über welches Seminar mit der Lehrkraft gesprochen wurde, wurden entweder die P- oder die W-Seminar-Fragen gestellt.

In den vier Fällen, in denen P-Seminarlehrkräfte am Ende ihres Seminars befragt wurden, ohne dass eine Befragung am Anfang stattgefunden hatte, wurde dieser zweite Leitfaden verwendet, wobei als erste Fragen des Interviews die oben erwähnten vier Einstiegsfragen des ersten Leitfadens zusätzlich gestellt wurden:

- Wie sind Sie dazu gekommen, ein Seminar zu übernehmen?
- Wie haben Sie zu einem Thema gefunden?
- Wie läuft die Verteilung der SuS auf die Seminare an Ihrer Schule ab?
- Wie haben Sie sich über das Konzept der Seminare informiert?

Befragte/r:	Zeitpunkt Seminar:	Datum:
-Seminar	Thema:	
Schule:	Art der Kooperation:	
<ol style="list-style-type: none"> 1. In welchen Bereichen haben Sie sich für das Seminar neues Fachwissen aneignen müssen? (chemisches Fachwissen, Methoden, Projektmanagement?) 2. Welche organisatorischen Rahmenbedingungen könnten in Bezug auf das Seminar verbessert werden? (Leitfach nicht als Kurs, Finanzen für Ausstattung, Lage im Stundenplan, Exkursionen) 3. Hätte das Seminar ohne die Kooperation mit der Universität genauso stattfinden können? 4. Wie sind Sie mit dem unterschiedlichen Vorwissen umgegangen, mit dem die SuS in Ihr Seminar kamen? 5. Was haben die SuS Ihrer Meinung nach im Seminar gelernt? 6. Inwiefern haben Sie den SuS im Vorfeld mitgeteilt, was auf sie zukommt und was sie leisten müssen? 7. Wie würden Sie Ihren Zeitaufwand für das Seminar beschreiben? 8. Welche U-Verfahren bzw. -methoden und -techniken haben Sie eingesetzt, und warum gerade diese? 9. Ist es Ihnen wichtig, mehr zu wissen als Ihre Schüler? 10. Welche Rolle spielt das freie chemische Experimentieren im Seminar im Vergleich zum normalen Unterricht? 11. Kann das Seminar bei den SuS besser Neugierde wecken, als klassischer CU? Warum? 12. Wie war die Kommunikation innerhalb des Seminars organisiert und wie zufrieden waren Sie damit? 13. Würden Sie sagen, dass die Zeit in den Seminarstunden effizient genutzt wurde? 14. Haben Sie bei Nicht-Erbringen von Leistungen durch die SuS eingegriffen und wenn ja, wie? 15. Wer hat im Seminar die wichtigen Impulse zum Ablauf gegeben? 16. Inwiefern haben Sie auch ein Scheitern im Seminar zugelassen? 17. Welches Feedback kam von den SchülerInnen während des Seminars und zu welchen Anlässen? 18. Inwieweit haben die SuS die Verantwortung dafür getragen, dass das Seminar erfolgreich war? 		

19. War es Ihnen wichtiger, dass das gesetzte Ziel erreicht wird, oder war Ihnen der eigenständige Weg der SchülerInnen wichtiger?
20. Gab es Konflikte zwischen den Seminarteilnehmern und wenn ja, wie sind Sie damit umgegangen?
21. Wie würden Sie die Unterrichtsatmosphäre im Seminar im Vergleich zu Ihrem normalen Unterricht beschreiben?
22. An welchen Stellen war die Arbeit im Seminar für Sie frustrierend und warum?
23. Wie haben Sie die Schüler dazu angeleitet, Informationen aus Quellen zu gewinnen und dann die Infos zu strukturieren?
24. Welche Rückmeldungen haben die SuS auf ihre Präsentationen bekommen?

W-Seminar

- W1: Wie haben Ihre SchülerInnen letztlich zu den Arbeitshypothesen gefunden?
- W2: Wie viele Ihrer Schüler haben experimentell gearbeitet? Inwiefern ging es dabei um die Überprüfung einer Hypothese?
- W3: Wie sind Sie vorgegangen, um für die Schüler machbare Experimente zu finden?
- W4: Wie haben Sie die SchülerInnen in der Erarbeitungsphase für die Seminararbeit begleitet?
- W5: Haben Sie selbst in Ihrem Werdegang experimentell gearbeitet?

P-Seminar

- P1: Wie war die Arbeit mit dem Portfolio bei Ihnen organisiert?
- P2: Welche Arbeitsteilung gab es bei Ihnen im P-Seminar?
- P3: Wer hat überwacht, dass der Zeitplan eingehalten wurde?
- P4: Gab es eine abschließende Reflexionsphase über das Projekt?
- P5: Wie haben Sie den Abschnitt zum Thema Projektmanagement unterrichtlich gestaltet?
- P6: Inwiefern waren Sie mit dem Thema Projektmanagement vor dem Seminar vertraut und wie steht es jetzt damit?

Abbildung 17: Leitfaden 2

4.4. Erhebung und Auswertung der Daten

Die durchgeführten Interviews wurden mit einer Erläuterung des Ziels der Studie, Erklärungen zur Anonymisierung und Hinweisen zum Aufnahmegerät begonnen. Der Leitfaden wurde in den Interviews stets komplett umgesetzt, die Reihenfolge der Fragen aber dem individuellen Gesprächsverlauf angepasst. Dieses Vorgehen entspricht der Forderung von Helfferich (2011, S. 180), der betont, dass die spontane Erzählung Vorrang vor dem Abarbeiten des Leitfadens haben muss, um sicherzustellen, dass keine relevanten Informationen abgeblockt werden. Andererseits birgt ein zu freies Vorgehen Gefahren, besonders wenn, wie im vorliegenden Fall, immer die gleiche Person alle Interviews durchführt, denn der Interviewer „wird nach einigen Interviews eine subjektive Theorie über sein Forschungsproblem entwickeln“ (Gläser & Laudel, 2010, S. 143). Dies birgt die Gefahr, dass Fragen anders gestellt werden. „Man neigt dann dazu, Fragen unbewusst so umzuformulieren, dass sie nur noch Bestätigungen für das einholen, was man schon zu wissen glaubt. Dadurch verändern sich die Interviews: ihr Informationsgehalt nimmt ab, und der suggestive Charakter nimmt zu“ (ebd.). Vermeiden lässt sich dieser Qualitätsverlust, indem man den Interviewleitfaden stets gründlich abarbeitet. Um also einen Konsens zwischen freiem Gesprächsfluss einerseits und möglichst wenig durch subjektives Urteil gefärbte Interviewführung andererseits zu erreichen, wurden die Fragen immer im gleichen Wortlaut und möglichst nach Themenblöcken gestellt.

Kuckartz et al. stellen dar, dass für eine unverfälschte Wiedergabe und nachvollziehbare Analyse von Interviews eine Aufzeichnung und spätere wörtliche Transkription erforderlich ist (Kuckartz, Desing, Rädiker, & Stefer, 2008, S. 15-16). Entsprechend vorliegender Erfahrungen (z. B. Gläser-Zikuda, 2015; Gläser & Laudel, 2010; Kuckartz, 2010; Kuckartz et al., 2008; Mayring & Gläser-Zikuda, 2008) wurde ein professionelles digitales Aufnahmegerät eingesetzt. Die Dateien wurden anonymisiert benannt und auf einen Rechner übertragen. Insgesamt wurden über 30 Stunden Aufnahmen für die Studie transkribiert (Transkriptionsregeln siehe Anhang). Alle transkribierten Interviews wurden jeweils von einer zweiten Person auf Korrektheit der Transkription überprüft. Die transkribierten und anonymisierten Originaltexte der Interviews wurden nicht weiter überarbeitet. Da die Datenmenge mit 30 Stunden Material überschaubar war wurde zugunsten einer möglichst hohen Validität direkt am Original gearbeitet und von einer potenziell verfälschenden Zusammenfassung des Materials abgesehen. Es erfolgte also keine Paraphrasierung des Gesamtmaterials, wie Mayring sie diskutiert (2010) sondern die Texte wurden direkt ausgewertet.

4.4.1. Vorverständnis der Kategorisierung

Definition des Begriffs *Kategorie*

Wie beschrieben ist das Ziel und die Stärke der Qualitativen Inhaltsanalyse die Möglichkeit, durch ein systematisches Vorgehen Sinnstrukturen in verschriftlichter Kommunikation aufzudecken. Diese Sinnstrukturen bilden sich im angewandten Kategoriensystem ab (Mayring, 2010, S. 92). Der Begriff *Kategorie* wird in der Bildungsforschung dabei sehr unterschiedlich definiert (Kuckartz, 2010, S. 198). In dieser Arbeit soll unter *Kategorie* ein Begriff oder eine Formulierung verstanden werden, die im Sinne einer Überschrift verwendet wird, und welcher passende Textpassagen aus den Interviews untergeordnet werden können. Da die Datenauswertung mit Hilfe des Computerprogramms MAXQDA erfolgte, ergibt sich noch eine zweite, organisatorische Bedeutungsebene: Danach sollen „Kategorien als Werkzeuge zur Phänomenklassifizierung mit der Möglichkeit der Bildung von Unterklassen“ verstanden werden (Kuckartz, 2010, S. 62). Darüber hinaus kann auch das Einsortieren in Kategorien auf sehr unterschiedlichen Ebenen geschehen. So unterscheidet Kuckartz (2010, S. 61-62) diesbezüglich drei Typen von Kategorien (die er hier *Codes* nennt): 1. Faktencodes (z. B. die Unterscheidung in männlich / weiblich), 2. Thematische Codes (z. B. Hinweis darauf, über welches Thema gesprochen wird) und 3. Bewertende Codes (Einstufung im Sinne einer Bewertung auf der Basis von Hintergrundwissen und Codiertraining). In der vorliegenden Studie fanden thematische und bewertende Kategorien Anwendung.

Begrifflich muss weiterhin unterschieden werden zwischen der *Kategorienbildung*, also dem Herausarbeiten solcher Überschriften und der eigentlichen *Codierung*, also dem Vorgang des Einsortierens in das aus Kategorien bestehende Codiersystem (Rost nach Hammann & Jördens, 2014, S. 170). Die einsortierten Inhalte, also die „Codiereinheiten können beispielsweise Wörter, Sätze oder Sinneinheiten sein“ (Bortz und Döring nach Hammann & Jördens, 2014, S. 170). Für die Detektion von Mustern in den Antworten der Lehrkräfte war die Suche nach einzelnen Begriffen oder das Codieren einzelner Sätze nicht zielführend. Somit wurden Sinneinheiten codiert.

Explikation der kommunikativen Regeln

Für die Interviewfragen dieser Studie waren Antworten zwischen einem Wort (z. B. „Ja“) und seitenlangen Erklärungen denkbar und sollten ausdrücklich zugelassen sein, um eine größere Objektivität zu erreichen (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2008, S. 41). Um also die Lehrkräfte in ihrem Antworten nicht einzuschränken und so gegebenenfalls die Aussagen zu verfälschen, wurden keine Vorgaben über die Länge der Antworten gemacht und für die Codierung folgende **Analyseeinheiten** (Mayring, 2010, S. 59) festgelegt:

- Es werden Sinneinheiten codiert.
- Als minimale Codiereinheit wird ein Teilsatz festgelegt, der in sich aussagefähig, also verständlich sein muss.
- Als Kontexteinheit, also größte zu codierende Einheit, wird ein zusammenhängender Themenabschnitt festgelegt, wobei die Zwischenfragen des Interviewenden mit codiert wurden und keine Zäsur darstellen.
- Als Auswertungseinheit werden die einzelnen Interviewdateien festgelegt, die nacheinander im Hinblick auf die verschiedenen Aspekte codiert werden sollen.

Da innerhalb einer solchen Analyseeinheit mehrere Aspekte des Professionswissens von Lehrkräften sichtbar werden konnten, waren **Doppelcodierungen** zulässig und erwünscht (Kuckartz, 2010, S. 23). Eine Lehrkraft berichtet zum Beispiel über einen längeren Abschnitt hinweg davon, wie sie das gemeinsame Arbeiten im Labor organisiert und angeleitet hat, wofür sie ihr didaktisches Wissen benötigt hat. Dabei erwähnt sie an einigen Beispielen, um welche chemischen Aspekte es im Detail ging. Damit wird ihr chemisches Fachwissen deutlich. Solche Stellen wurden ihrem Inhalt entsprechend doppelt codiert also zum Beispiel in die Kategorie CK UND PCK eingeordnet.

Das in dieser Arbeit entwickelte Kategoriensystem besteht in der ersten Ebene vor allem aus thematischen Kategorien (z. B. PCK, CK, PK). In der zweiten Ebene wird dann eine Einordnung nach Wertung vorgenommen (z. B. Herausforderung bewältigt oder nicht bewältigt). Hierfür müssen der Codierer und Zweitcodierer sowohl über den theoretischen Hintergrund des Kategoriensystems informiert sein (Kuckartz, 2010, S. 62) als auch Erfahrungen aus der schulischen Praxis mitbringen. Die Beurteilung der Aussagen von Lehrkräften kann in ihrem Bedeutungsgehalt am besten von Codierern mit ähnlicher Profession beurteilt werden. Dem entsprechend wurde die Codierung durch zwei erfahrene und theoretisch sowie praktisch weitergebildete Lehrkräfte durchgeführt. Schließlich wird in der Auswertung eine Betrachtung nach Fakten vorgenommen, zum Beispiel werden einige Ergebnisse in Relation zur Vorerfahrung der Lehrkräfte mit Seminarfächern gesetzt.

Typisierung des Interpretations-Ansatzes

Das Einsortieren von Aussagen in bestimmte Kategorien hat wie beschrieben das Ziel, wiederkehrende Muster in den Äußerungen der Befragten zu detektieren. Dabei ist das Kategoriensystem entscheidend. Bei seiner Entwicklung sind drei Faktoren zu beachten: Die Theoriegeleitetheit einerseits, das enge Arbeiten am konkreten Material andererseits und das stets regelgeleitete, systematische Vorgehen (Mayring, 2010, S. 59). Hier deuten sich bereits zwei grundsätzlich unterschiedliche Herangehensweisen für die Entwicklung eines Kategoriensystems an: „Die Bildung von Kategorien kann **induktiv**, aus dem Material heraus, oder **deduktiv**, auf der Grundlage eines theoretischen Ansatzes, geschehen“ (Kuckartz, 2010, S. 201).

Die Stärke der induktiven Vorgehensweise besteht in der Möglichkeit der unvoreingenommenen Entdeckung von Mustern. Die gewonnenen Kategorien kommen direkt aus dem Material und nicht aus vorverfassten Theorien. Für die vorliegende Studie war diese Offenheit der Herangehensweise das Ziel. Somit wurden nach grundsätzlicher Kategorisierung durch deduktiv generierte Oberkategorien aus den Aussagen der Lehrkräfte induktiv Unterkategorien generiert. Das erarbeitete Kategoriensystem wurde also durch beide Herangehensweisen gewonnen, denn „durch eine Kombination von deduktiver und induktiver Kategorienbildung lassen sich die Vorteile der jeweiligen Vorgehensweise einbinden“ (Reinhoffer, 2008, S. 133). Zulässig ist, wie oben beschrieben, diese Herangehensweise dann, wenn dabei alle Schritte theoriegeleitet erfolgen (Mayring, 2010, S. 51).

Für die konkrete Ausrichtung des Kategoriensystems beschreibt Mayring drei mögliche Ansätze und damit **Grundformen des Interpretierens** des Materials, die Zusammenfassung, die Explikation und die Strukturierung (Mayring, 2010, S. 65). Angesichts der vergleichsweise geringen Fallzahl schien eine Zusammenfassung des Materials weder notwendig noch gewinnbringend. Dagegen war es primäres Ziel, grundsätzlich herauszufiltern, welche Aspekte den Lehrkräften im Zusammenhang mit den Seminarfächern bedeutsam erschienen. Somit wurde in dieser Studie eine Interpretation des Materials im Sinne einer **Strukturierung** vorgenommen. Auf der Ebene der Oberkategorien stand dabei die Typisierung im Vordergrund (Welcher Aspekt der professionellen Kompetenzen der Lehrkraft ist gefordert?), auf der Ebene der Unterkategorien erfolgte zum Teil eine skalierende Strukturierung (Anforderung – Herausforderung – gelungen / nicht gelungen). Die skalierenden Kategorien ergaben sich aus der Fragestellung selbst (Welche neuen Herausforderungen stellen die Seminarfächer dar?).

Für die Vorgehensweise bei einer solchen strukturierenden Qualitativen Inhaltsanalyse wurden von Mayring klare Vorgaben formuliert:

1. Definition von Einschätzungsdimensionen. Diese werden aus der Forschungsfrage abgeleitet und stellen im Grunde Variablen mit verschiedenen Ausprägungen dar.
2. Bestimmung der Ausprägungen der Einschätzungsdimensionen.

3. Formulierung von Definitionen und Ankerbeispielen – Es werden konkrete Textstellen angeführt, die unter eine Einschätzungsdimension fallen und als Beispiele für diese Einschätzungsdimension gelten sollen.
4. Fundstellenzeichnung – überall, wo die Einschätzungsdimension angesprochen ist, wird diese Stelle markiert.
5. Codierung – d.h. die Einschätzung wird vorgenommen und entschieden, welche Ausprägung angemessen ist.

„Mindestens zwei Materialdurchläufe sind notwendig. Im ersten Durchlauf wird das Material daraufhin durchgesehen, welche Einschätzungsdimensionen im Text angesprochen werden. Diese Fundstellen werden zunächst nur markiert. Beim zweiten Materialdurchlauf wird das so kenntlich gemachte Material auf den Einschätzungsdimensionen bewertet“ (Kuckartz, 2010, S. 151). In der vorliegenden Arbeit wurden die Einschätzungsdimensionen aus der Forschungsfrage nach den neuen Anforderungen an die Lehrkräfte entwickelt. Die Ausprägung ergab sich aus den Aussagen der Lehrkräfte. Die Definitionen und Ankerbeispiele wurden aus dem Material gewonnen, im Codierleitfaden festgelegt und die so definierten Kategorien theoriebasiert voneinander abgegrenzt. Die Schritte vier und fünf wurden ausschließlich digital vollzogen.

Abgrenzung der Kategorien

Für jede der aufgestellten Kategorien muss eine genaue Charakterisierung erfolgen, sodass klar wird, wann eine Aussage unter diese Kategorie fällt, bzw. welche Textstellen in diese Kategorie einsortiert werden sollen und welche in eine andere. Hierzu gibt Mayring drei notwendige Schritte an (2010, S. 92):

„1. Definition der Kategorien

Es wird genau definiert, welche Textbestandteile unter eine Kategorie fallen.

2. Ankerbeispiele

Es werden konkrete Textstellen angeführt, die unter eine Kategorie fallen und als Beispiele für diese Kategorie gelten sollen.

3. Kodierregeln

Es werden dort, wo Abgrenzungsprobleme zwischen Kategorien bestehen, Regeln formuliert, um eindeutige Zuordnungen zu ermöglichen.“

Für die vorliegende Arbeit wurde dem entsprechend ein Codierleitfaden entwickelt (siehe Anhang), der aus einer dichotom gestalteten Übersicht im Sinne eines Bestimmungsschlüssels besteht. Mit Hilfe des Bestimmungsschlüssels kann anhand von Schlüsselfragen und der Charakterisierung der Oberkategorien die Einordnung in diese erfolgen. Die Charakterisierung der deduktiv gewonnenen Oberkategorien ergibt

sich aus dem theoretischen Hintergrund. Dort, wo die Abgrenzung auf der Grundlage des COACTIV-Modells nicht klar gelang, wurde theoriebasiert eine Ausschärfung der Abgrenzung vorgenommen (siehe Kap. 2.4). Die induktiv gewonnenen, zum Teil skalierenden und zum Teil typisierenden Unterkategorien wurden auf gleiche Weise theoriebasiert definiert und erläutert. Für alle Kategorien wurden Ankerbeispiele im Codierleitfaden hinterlegt.

Auswertung der Daten mit MAXQDA

Auf der Grundlage des so festgelegten Kategoriensystems wurde schließlich die Codierung der Interview-Texte mit Hilfe des Auswertungsprogramms MAXQDA vorgenommen. Im vorliegenden Fall wurde die Memo-Funktion des Programmes benutzt, um induktiv Kategorien aus dem Material zu generieren. Hierzu wurden zunächst Aussagen der Lehrkräfte Memos angehängt, in denen mit wenigen Stichpunkten das Thema ihrer Aussage zusammengefasst wurde. Aus der Zusammenfassung wurden dann Überschriften generiert (Beispiele siehe Tabelle 11). Dieser **paraphrasierende Zwischenschritt** wurde mit einem Drittel der Interviews durchgeführt und dann die so aus den Memos gewonnenen Themen zusammengeführt und verglichen. Auf diese Weise konnten neue, passende Kategorien detektiert werden. Diese wurden dann in das Kategoriensystem eingefügt und durch erneute Codierung des Gesamtmaterials auf ihre Passung in Bezug auf die Aussagen überprüft.

Tabelle 11: Generieren von Kategorien mit Hilfe der Memo-Funktion - Beispiele

Interview	Memo	Kategorie
Dass die jetzt für den Aufwand, den sie sowohl für Lehrer als auch für Schüler kosten, im Allgemeinen zu wenig ins Abitur mit einfließen.	Seminare zählen zu wenig im Abitur im Verhältnis zum Aufwand für SuS u L	Verhältnismäßigkeit des Aufwands
W-Seminar: Insofern denke ich, es ist wichtig, dass wir unsere Seminare so gestalten, dass wir Theorie-Arbeiten und Praxis-Arbeiten haben. Es gibt nämlich auch Schüler, die gerne theoretisch arbeiten und nicht praktisch. Wenn man also 15 praktische Themen ausgibt, dann ist man selber schuld.	Seminare in Bezug auf Themen so gestalten, dass Laborarbeit bewältigbar	Organisation praktische Arbeiten
Wir haben jetzt immer irgendwie feste Nachmittage, an denen diese Seminare stattfinden. ... Auch da muss ich mich wieder erst wieder fortbilden. Da mache ich jetzt ... eine Gitarre in einer Gitarrenfirma für 2000 Euro – das tut mir weh... Mir ist aber auch wieder entgegengekommen worden.	Zeitpunkt der Seminare; Fortbildung des L und Entgegenkommen der Schule	Organisatorische Probleme
Jaa, du brauchst letztendlich zwei Noten. Das war es, Aber das ist ein bisschen wenig. Und dann eben dieses Zertifikat mit den Kompetenzen, was die dann zusätzlich erworben haben. Das war schon ein bisschen schwierig.	Woher kommen die beiden Noten?	Benotung

4.4.2. Rückprüfung des Kategoriensystems

Für eine erste Kategorisierung wurden aus dem hypothetischen Modell des guten Chemieunterrichts (Abbildung 13) deduktiv erste Kategorien abgeleitet und erste Codierungen vorgenommen. Im Zuge der Paraphrasierung per Memo-Funktion und nachfolgender Codierung wurde deutlich, dass die Aussagen sich in dieses Kategoriensystem nicht schlüssig einordnen ließen. Ein erstes Umsortieren und Vereinigen von Kategorien am Material ergab schrittweise die in Tabelle 12 zusammengefassten Schwerpunkte:

Tabelle 12: Kategoriensystem August 2012

Kategorie	Subkategorie	Anzahl Codings
Erfolg des Seminars		1
grundsätzliche Lehrerhaltung		10
	Freiheit	2
	Zeitmanagement	5
	Frustration und Freude des Lehrers	4
Rahmenbedingungen		0
	Themenfindung für Seminar	2
	organisatorische Planung	13
	Vorbereitung und Vorbildung	15
	Kooperationspartner	4
	organisatorische Rahmenvorgaben KM u Schule	12
L über Schüler		0
	Erreichen von Kompetenzen	1
	Feedback Schüler	0
	Gruppendynamik	2
	Einschätzung der Schülerhaltung zum Seminar	10
	Motivation Engagement Zuverlässigkeit Selbstständigkeit	6
	Voraussetzungen der SuS für Seminar	6
Didaktische Überlegungen u Herausforderungen		10
	Hinleitung zum Thema Themenfindung	3
	Anleitung zum naturwissenschaftl. arbeiten	1
	Hinleitung zum Projektmanagement	2
	Bewertung	2
	Freiheit geben	1
	praktisches Arbeiten	3
	Kommunikation	2
		0

Aus den vielen wenig oder nicht besetzten Kategorien einerseits und den lokalen Häufungen andererseits wird deutlich, dass die Lehrkräfte oft über organisatorische

und didaktische Themen im Rahmen der Seminare sprachen. Deutlich wird auch, dass sie sich zu Problemen mit den Schülern äußerten, weniger aber zum eigentlichen Unterrichtsablauf. Deshalb wurden von den ersten acht durchgeführten Interviews **Case-Summaries** angefertigt deren Ergebnisse in Tabelle 13 dargestellt sind. Den Vorschlägen von Kuckartz folgend kann es hilfreich sein, für die befragten Personen charakterisierende Adjektive zu finden, um beispielsweise Gefühlslagen zu interpretieren (Kuckartz et al., 2008, S. 33-34). Zwei Personen suchten daher unabhängig voneinander charakteristische *Namen* für die entsprechenden Lehrkräfte.

Tabelle 13: Übersicht über Ergebnisse der Case-Summaries

Seminar	Person 1	Person 2
W	Der/Die total Durchgeplante	Der/Die entspannte Strukturierte
W	Der/Die erfahrene, engagierte FachbereichsleiterIn und das „lästige Beiwerk“	Der/Die erfahrene Gelassene
W	Der/Die planvolle JunglehrerIn	Der/Die methodische PlanerIn
W	Der umfangreich vorgebildete pädagogische Profi	Der/Die Realistische
W	Der/Die frustrierte und etwas ratlose FachwissenschaftlerIn	Der/Die resignierend Erfahrene
P	Der/Die ohne Vorbildung, die ins kalte Wasser springt	Der/Die entspannte AusprobiererIn
P	Der/Die altgediente, begeisterte LK-LehrerIn, der/die gern Neues ausprobiert	Der/Die aufgeschlossene Interessierte
P	Der engagierte Projektmanagement-Profi	Der/Die zielstrebig-Kreative

Als Fazit der Case-Summaries offenbart sich, dass der als Ausgangspunkt genommene theoretische Hintergrund des *guten Unterrichts* unzureichend ist. Die Lehrkräfte sprachen zwar über ihren Unterricht, die Aussagen ließen aber letztlich wenige Schlüsse über das eigentliche Unterrichtsgeschehen zu. Von den meisten Lehrkräften wurden zwar auch schriftliche Unterlagen zu ihrem Unterricht zur Verfügung gestellt, aber diese Dokumente waren sehr divergent – nicht zuletzt deshalb, weil sich die fachlichen Unterrichtsinhalte zum Teil massiv unterschieden und folglich die Unterrichtsverläufe maximal unterschiedlich waren.

Sehr deutlich wurde hingegen, dass die Lehrkräfte darüber sprachen, welche Anforderungen die Seminarfächer an sie stellten. Dies offenbart sich rückblickend auch sehr gut aus den typisierenden *Namen* der Case-Summaries.

Diesen Ergebnissen folgend wurde das Material auf einer **neuen theoretischen Grundlage**, nämlich dem des Professionswissens der Lehrkräfte (siehe Kapitel 2) codiert. Dass die Interviews einerseits auf der Grundlage von Fragen entstanden sind, die das Unterrichtsgeschehen und relevante Aspekte des Unterrichtens betreffen, andererseits aber auf einer modifizierten theoretischen Grundlage ausgewertet wurden, sollte aus den folgenden Gründen unproblematisch sein:

- Alle Interviews basieren auf den gleichen Interviewleitfäden, die Voraussetzungen sind also für alle betrachteten Fälle gleich.
- Die Theorie *guten Unterrichts* als Grundlage für den Fragenkatalog stellt sicher, dass alle Aspekte der betrachteten Situation – nämlich des Unterrichts – berücksichtigt wurden. Insofern ist diese Perspektive durchaus geeignet, um als Leitlinie für ein Gespräch über die spezielle unterrichtliche Situation in den Seminarfächern zu dienen.
- Die Lehrkräfte sprachen dem entsprechend über all diese Aspekte des Unterrichts bzw. wurden zu diesen befragt. Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Unterricht im Seminarfach als betrachtete Situation ganzheitlich anvisiert und besprochen wurde.
- Die Lehrkräfte nahmen weniger die Perspektive der möglichen unterrichtlichen Facetten ein. Vielmehr sprachen sie stärker aus ihrer persönlichen Perspektive und im Besonderen über die empfundenen Anforderungen, die dieser Unterricht an sie stellte.
- **Es ging also weniger um *Wie Unterricht im Seminarfach im Vergleich zum Chemieunterricht abläuft* als vielmehr um *Was für mich neu und schwierig am Unterrichten im Seminarfach ist* bzw. war.**

Das durch die Untersuchung gewonnene Material erbrachte also letztlich Antworten zu einer weiter gefassten Fragestellung und damit eine Spezifizierung der Perspektive. Im Sinne der für eine qualitative Untersuchung geforderten Offenheit, musste dieses Ergebnis in das weitere Vorgehen im Sinne von Lofland einbezogen werden: „To capture participants ‚in their own terms‘ one must learn *their* categories for rendering explicable and coherent the flux of raw reality. That, indeed, is the first principle of qualitative analysis” (in Patton, 2002, S. 21). Um also tatsächlich die *reine Realität* abzubilden, musste der durch die Lehrkräfte vorgegebene Perspektivwechsel durch die Untersuchung nachvollzogen werden. Vor anderem theoretischen Hintergrund wurde die anfängliche Fragestellung nach dem Unterricht in den Seminarfächern spezifiziert zu:

Welche neuen didaktischen und organisatorischen Herausforderungen müssen Chemie-Lehrkräfte bei der Durchführung von Seminarfächern nach ihren eigenen Aussagen bewältigen und wie begegnen die Lehrkräfte diesen Herausforderungen?

Die ursprüngliche Frage nach der möglichen Rolle der Universität bleibt dagegen bestehen:

Wie kann die Universität zur Bewältigung dieser Herausforderungen beitragen?

Daraus ergibt sich das in Abbildung 18 dargestellte modifizierte Ablaufmodell.

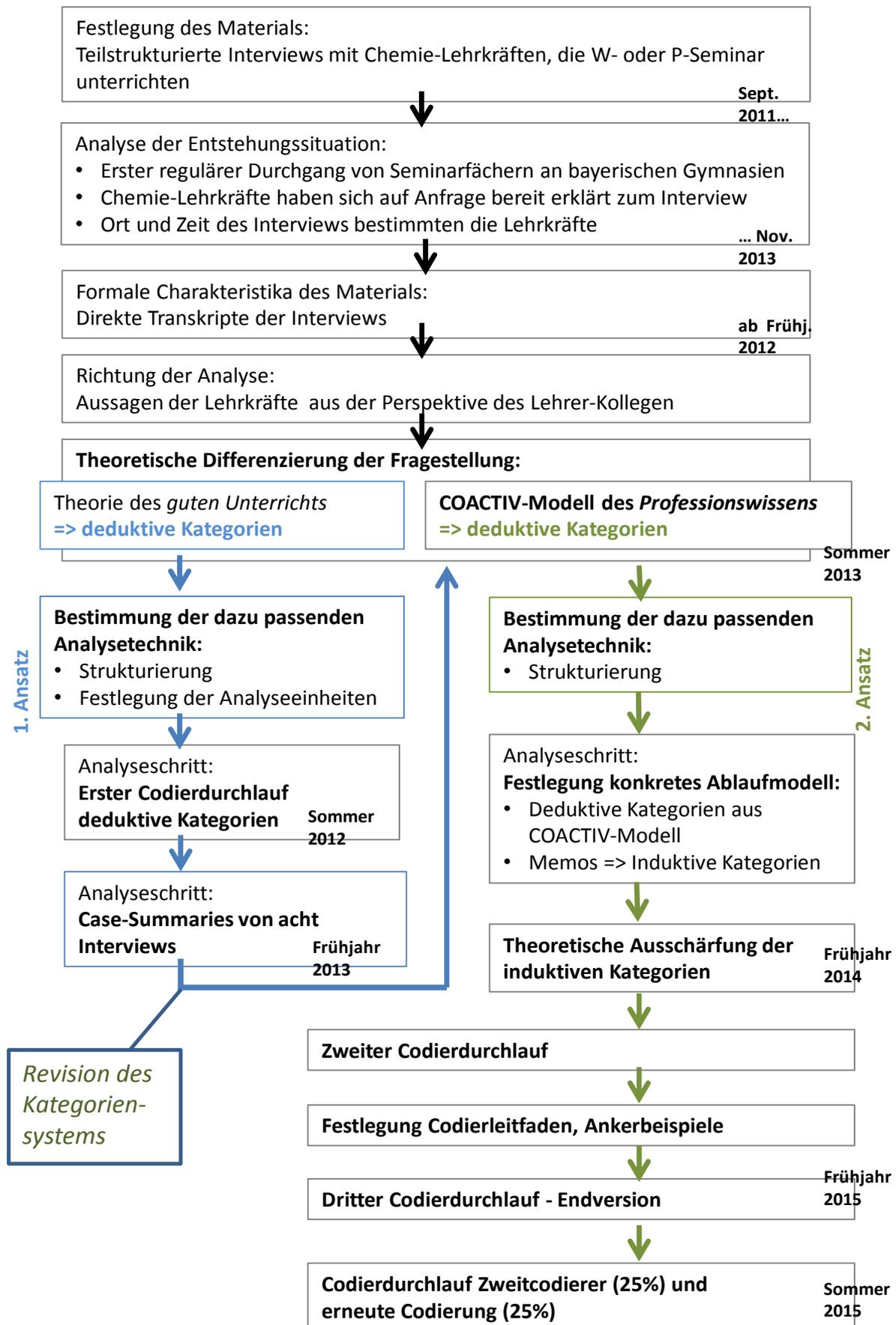


Abbildung 18: Ablaufmodell der Studie

4.5. Verwendetes Kategoriensystem

Ein generelles Modell für das Professionswissen von Chemie-Lehrkräften wurde im ersten Teil dieser Arbeit umrissen. Daraus ergeben sich untenstehende **deduktiv** abgeleitete Oberkategorien und Hauptkategorien (Tabelle 14). Bei der Kategorisierung wurde davon ausgegangen, dass immer dann, wenn eine Lehrkraft z. B. von der didaktischen Umsetzung im Seminar berichtete, an dieser Stelle im Unterricht ihr PCK gefordert war. Solche Aussagen wurden dem entsprechend in die Kategorie PCK eingeordnet.

Tabelle 14: Oberkategorien und Hauptkategorien des Kategoriensystems

Oberkategorien <i>Hauptkategorien</i>
Überzeugungen und Werthaltungen (Aussagen zu persönlicher Wertebindung, Zielsysteme, subjektive Lerntheorien)
Motivationale Orientierung (Aussagen überindividuelle Motivation, Enthusiasmus, Frustration, Selbstwirksamkeit)
Selbstregulation (Aussagen zu Belastung, Zeitmanagement)
Professionswissen
<i>CK Fachwissen</i> (Aussagen, die Faktenwissen aus Naturwissenschaft, Berufswelt, Projektmanagement, Medienkunde betreffen)
<i>PCK Fachdidaktisches Wissen</i> (Aussagen zum WIE der Vermittlung des Faktenwissens aus Naturwissenschaft (v. a. Experimentieren), Berufswelt, Projektmanagement, Medienkunde)
<i>PK Pädagogisch-Psychologisches Wissen</i> (Aussagen, die grundsätzliches pädagogisch-psychologisches Wissen und Können betreffen wie Vorwissen, Leistung, Motivation, Disziplin)
<i>BW Beratungswissen</i> (Aussagen zu (längerfristigen) Beratungssituationen zwischen Lehrkraft und Schülern zu deren individuellen Problemen)
<i>OW Organisationswissen</i> (Aussagen zu Belangen, bei denen das Wissen der Lehrkraft über das System Schule und dessen Umfeld betroffen sind)
Irrelevantes

Die genaue Systematik für die Zuordnung von Aussage und Kategorie findet sich im Codierleitfaden im Anhang dieser Arbeit und ist dort durch Ankerbeispiele konkretisiert. Die theoretische Abgrenzung der einzelnen Kategorien in für diese Studie relevanten Punkten wurde zudem in Kapitel 2 diskutiert. Für die Fragestellung irrelevante Aspekte wie private Gesprächsanteile oder ungeplante Beiträge Dritter wurden in die Hauptkategorie *Irrelevantes* codiert. Alle in die Kategorie *Irrelevantes* einsortierten Äußerungen gehörten zu einer der folgenden Unterkategorien⁴²:

- Instruktion für Interview
- Interviewer berichtet
- Lehrer berichtet Non-Studie
- Schule, aber irrelevant
- Privates bzw. *Non-Fach-Non-Studie*
- Organisatorisches zu Kooperationsmöglichkeiten
- Besprechung der Materialien der Lehrkraft.

Da der Umfang der codierten Einheiten von jedem einzelnen Codierer individuell festgelegt wurde und Doppelcodierungen zulässig waren, lassen sich nur grobe quantitative Informationen gewinnen (Tabelle 15).

Tabelle 15: Prozentuale Verteilung der Codierungen auf die Haupt-Kategorien

Oberkategorie und - Hauptkategorie	Erstcodierung	Zweitcodierung	Drittcodierung
	(Autorin)	(Autorin)	(Zweitcodierer)
	Prozent (Anzahl Codings)	Prozent (Anzahl Codings)	Prozent (Anzahl Codings)
Überzeugungen und Wertehaltungen	9,5 % (154)	15,0% (63)	17,4% (223)
Motivationale Orientierung	4,6% (75)	3,8% (16)	7,4% (95)
Selbstregulation	3,9% (64)	4,8% (20)	4,3% (55)
Professionswissen:	55,6% (906)	50,2% (211)	50,5% (647)
- CK Fachwissen	8,8% (144)	10,2% (43)	7,3% (93)
- PCK Fachdid. Wissen	17,1% (278)	20,0% (84)	21,9% (280)
- PK Pädagog.- Psycholog. Wissen	25,2% (410)	16,4% (69)	20,3% (260)
- Beratungswissen	4,5% (74)	3,6% (15)	1,1% (14)
- Organisationswissen	26,4% (430)	26,2% (110)	20,4% (261)
Gesamtzahl der relevanten Codings (= 100%)	100,0% (1629)	100,0% (420)	100,0% (1281)
(Irrelevantes)	(906)	(211)	(647)

⁴²Auch diese Unterkategorien wurden induktiv aus dem Material gewonnen.

Aus diesen Daten lässt sich erkennen, dass die Lehrkräfte sich zu allen durch das COACTIV-Modell vorgegebenen Bereichen ihres Professionswissens äußerten. Das ist insofern besonders bemerkenswert, als die Fragenkataloge nicht auf der Grundlage des COACTIV-Modells entstanden sind. Dass die Antworten der Lehrkräfte ohne Anbahnung durch entsprechende Fragen einerseits ALLE Kategorien bedienten und es andererseits KEINE Antworten gab, die nicht in das Kategoriensystem gepasst hätten, kann als Beleg für die Validität des theoretischen Modells gewertet werden. (Die Validität der Daten insgesamt und der Vergleich der Erst-, Zweit- und Drittcodierung wird im nächsten Kapitel genauer diskutiert).

Wünschenswert wäre, für die relative Verteilung der Beanspruchung der Aspekte des Professionswissens der Lehrkräfte Vergleichsdaten in Bezug auf den normalen Chemieunterricht oder generell den naturwissenschaftlichen Unterricht zu haben. Leider sind bislang keine Studien bekannt, die zum Beispiel die relative Beanspruchung des Fachwissens einer Lehrkraft im Verhältnis zur Beanspruchung ihres Fachdidaktischen oder Pädagogischen Wissens im naturwissenschaftlichen Unterricht untersuchen.

Trägt man die **Forschungsfrage** nach den neuen didaktischen und organisatorischen Herausforderungen an die Chemie-Lehrkräfte durch die Seminarfächer an das Material heran, so gilt es, vor allem drei Aspekte heraus zu arbeiten:

- **Von welchen didaktischen und organisatorischen Themen berichten die Lehrkräfte generell, wenn sie über Anforderungen an ihr Professionswissen im Zusammenhang mit den Seminarfächern sprechen?**
- **Welche Anforderungen an das Professionswissen der Lehrkräfte im Rahmen der Durchführung der Seminarfächer werden von den diesen als Herausforderung empfunden?**
- **Welche der von den Lehrkräften beschriebenen didaktischen und organisatorischen Aspekte sind neu, also spezifisch für die Seminarfächer?**

Aus den Aussagen der Lehrkräfte ergaben sich hinsichtlich dieser drei Perspektiven für das Professionswissen die **induktiv** gewonnenen Kategorien zu angesprochenen **Themenfeldern**, dem **Anforderungsniveau** und der **Fachspezifität**.

Da von den vier Aspekten professioneller Kompetenz, wie sie das COACTIV-Modell unterscheidet, die ersten beiden eher von der individuellen Person als vom Fach abhängen, eigneten sich diese Oberkategorien nicht, um unter dem Gesichtspunkt des Anforderungsniveaus oder der Fachspezifität betrachtet zu werden. Ob die **Überzeugungen und Wertehaltungen** einer Lehrkraft oder ihre **motivationale**

Orientierung durch die Seminarfächer herausgefordert wurden oder nicht, hängt ausschließlich vom subjektiven Empfinden ab kann daher nicht vergleichend betrachtet werden. Somit wurden diese Oberkategorien ausschließlich im Hinblick auf die Identifikation von als relevant empfundenen Themenfeldern weiter kategorisiert.

Ähnlich verhielt es sich in Bezug auf die Hauptkategorie **Organisationswissen**: Die Seminare finden innerhalb des Schulsystems statt und unterliegen unausweichlich den Rahmenvorgaben dieser Organisationsstruktur. Diese Rahmenvorgaben sind von der Lehrkraft nur sehr bedingt beeinflussbar. Eine Betrachtung dahingehend, ob Anforderungen an das diesbezügliche Wissen der Lehrkraft für die erfolgreiche Umsetzung der Seminare hinreichend war oder nicht, ist somit nicht sinnvoll. Somit wurde auch die Hauptkategorie Organisationswissen primär im Hinblick auf die als relevant empfundenen Themenbereiche untercodiert. Der Umstand, dass die Seminarfächer die Zusammenarbeit mit externen Partnern vorsehen, könnte bewirken, dass das von der Lehrkraft zu beherrschende Organisationswissen über das für den sonstigen Unterricht übliche hinausgeht. Daher wurden die gewonnenen thematischen Sub-Kategorien auch im Hinblick auf die Fachspezifität betrachtet und diskutiert.

Zum **Beratungswissen** äußerten sich die Lehrkräfte relativ zu anderen Kompetenzbereichen des Professionswissens am seltensten (4,5%). Somit wurde zunächst durch thematische Kategorisierung untersucht, bei welchen Gelegenheiten die Lehrkräfte ihr Beratungswissen in den Seminarfächern benötigten. Wie beim Organisationswissen wurden anschließend die thematisch gewonnenen Sub-Kategorien hinsichtlich ihrer Fachspezifität kategorisiert. Weiterhin wurde trotz geringer Anzahl von Äußerungen zum Beratungswissen auch eine Klassifizierung nach Anforderungsniveau versucht.

Anders wurde mit den weiteren Kompetenzbereichen des Professionswissens **CK, PCK und PK** verfahren: Die Fragen nach Anforderungsniveau und Fachspezifität wurden in Form von Sub-Kategorien an das Material dieser Haupt-Kategorien herangetragen. Dabei wäre es grundsätzlich möglich gewesen, das durch die deduktiven Kategorien vorstrukturierte Material einmal in Bezug auf das Anforderungsniveau und in einer zweiten Kopie auf identischer Ebene im Hinblick auf die Fachspezifität zu untersuchen. Bei einem solchen Vorgehen wäre es aber am Ende schwieriger gewesen, Zusammenhänge zwischen diesen beiden Aspekten zu detektieren. Daher wurde der Weg gewählt, die beiden Aspekte als einander untergeordnete Kategorie-Ebenen an das Material heranzutragen. Auf diese Weise konnte zudem dem Umstand Rechnung getragen werden, dass das Anforderungsniveau durch eine ordinalskalierte Abstufung klassifiziert werden kann, die sich relativ klar definieren lässt, die Fachspezifität aber nicht.

Ebenso wie zu den Kompetenzbereichen des Professionswissens kann die Lehrkraft sich in Bezug auf die **Selbstregulation** dahingehend äußern, ob diese ihrer Ansicht nach im Zusammenhang mit den Seminarfächern gelungen ist, oder nicht. Insofern

wurden auch auf diese Haupt-Kategorie die Sub-Kategorien zum Anforderungsniveau angelegt.

Alle hier angesprochenen Aspekte sollen im Folgenden genauer diskutiert und die resultierenden Teile des Kategoriensystems dargestellt werden:

4.5.1. Sub-Kategorien zur Detektion von *Themenfeldern*

Wie beschrieben wurden Aussagen der Lehrkräfte zu ihren **Überzeugungen und Werthaltungen** und zur **Motivationalen Orientierung** im Zusammenhang mit den Seminaren zunächst in diese Über-Kategorien codiert. Die Identifizierung thematischer Sub-Kategorien erfolgte dann in oben beschriebener Weise, woraus sich untenstehende, tabellarisch zusammengefasste für die Lehrkräfte relevante Themenfelder ergaben (Tabelle 16 für *Überzeugungen und Werthaltung* und Tabelle 17 für *Motivationale Orientierung*).

In einigen der Sub-Kategorien spiegeln sich direkt die in den Interviews gestellten Fragen wider, zum Beispiel in Bezug auf „mehr wissen als Schüler“ und „Eigenständigkeit versus Ziel erreichen“ oder „Spaß und Freude“. Daraus lässt sich einerseits ableiten, dass die Fragen *die richtigen* waren, also auf Themen abzielten, die die Lehrkräfte als relevant empfanden. Ausnahme ist hier das Epistemologische Wissen: Die aus der Theorie abgeleitete Frage zu diesem Aspekt führte offensichtlich nicht zu entsprechenden Antworten der Lehrkräfte. Fragestellungen dazu, wie Wissen generiert wird, scheinen also für die Lehrkräfte im Zusammenhang mit den Seminaren irrelevant gewesen zu sein – ein Befund, der gerade für das W-Seminar diskutiert werden muss. Aus dem Umstand, dass die Lehrkräfte auf manche der Fragen ausführlicher antworteten, als auf andere Fragen, lässt sich auf die entsprechende Relevanz bestimmter Themen schließen. So waren die Lehrkräfte offensichtlich gezwungen, ihre individuelle Haltung in Bezug auf ihr Verständnis von der eigenen Rolle und vom Ziel der Seminare insgesamt zu reflektieren – ein Befund, auf den im Folgenden noch genauer eingegangen wird.

Weitere Sub-Kategorienergebnisse ergaben sich nicht durch die gestellten Fragen, sondern entstanden direkt aus dem Material, wie zum Beispiel „Zurückhaltung üben“ oder „Haltung zu Bewertung und schlechten Noten“ sowie die Motivationale Orientierung zum Produkt des Seminars und zum Umgang mit den Schülern im Seminar. Diese Kategorien zeigen also neue Perspektiven im Zusammenhang mit den Seminarfächern auf und verdeutlichen, dass für die Lehrkräfte die Übergabe der Initiative an die Schüler und der damit weniger sichere Erfolg des Seminars ein bedeutendes Thema waren.

Tabelle 16: Kategoriensystem zu Überzeugungen und Werthaltungen

Überkategorie: Überzeugungen und Werthaltungen	Anz. Codings
Sub-Kategorien	
Individuelle Ziele und Weltbild des Lehrers	13
Persönliche Unterrichts-Vorlieben und -Theorien	21
Grenzen der Wirkens-Möglichkeiten als Lehrer	10
Rollenverständnis des Lehrers im Seminar	
- In Bezug auf „mehr wissen als die Schüler“	14
- In Bezug auf Gewichtung „Eigenständigkeit der Schüler“ versus „Ziel erreichen“	10
- In Bezug auf Zurückhaltung üben der Lehrkraft	32
Freiheit des Lehrers in der Gestaltung der Seminare	11
Generelle Haltung zu den Seminaren	
- Haltung zur Übernahme eines Seminars	9
- Haltung zur Bedeutung der Fachwissenschaft im Chemie-Seminar	6
- Haltung zu Sinn und Ziel der Seminare	17
- Haltung zu Bewertung und schlechten Noten	8
Epistemologische Überzeugungen	0

Tabelle 17: Kategoriensystem zur Motivationalen Orientierung

Überkategorie: Motivationale Orientierung	Anz. Codings
Sub-Kategorien	
Persönliche Beweggründe des Lehrers in Bezug auf das Seminar	
- Eigene Interessen und Erwartungen	35
- Spaß und Freude	16
Produkt des Seminars	
- demotivierend	6
- motivierend	1
Umgang mit den Schülern	
- demotivierend	9
- motivierend	8

Tabelle 18: Kategoriensystem zum Beratungswissen

Überkategorie: Professionswissen Hauptkategorie: Beratungswissen	Anz. Codings
Sub-Kategorien	
Beratung bei Konflikten im Seminar	14
Beratungssituationen im Zusammenhang mit der Anleitung bei der Seminararbeit oder im Projekt	36
Beratung im Zusammenhang mit der Berufs- und Studienwahl	8
Coaching oder Mentoring innerhalb des Projektes	4
Beratungsgespräch zu Leistungen im Seminar	12

Für die Beanspruchung des **Beratungswissens** der Lehrkräfte ergab das beschriebene methodische Vorgehen die in Tabelle 18 aufgeführten Themenfelder und somit Sub-Kategorien. Wie erwartet ergaben sich in den Seminarfächern – im Gegensatz zum *klassischen* Unterricht – systematisch Beratungssituationen, und zwar am häufigsten im Sinne einer Anleitung bei der individuellen Arbeit an der Seminararbeit oder am Teilaspekt des Projektes. Erstaunlich ist, dass über eine Beratung bei der Studien- und Berufswahl von den Lehrkräften am seltensten gesprochen wurde, woraus sich vorsichtig schließen lässt, dass diese mit der befragten Lehrkraft entsprechend selten stattgefunden hat. Ursache hierfür könnte die beschriebene organisatorische Trennung von BuS-Teil und Projekt sein, sodass die Beratung der Schüler im Zusammenhang mit BuS nicht von der befragten Lehrkraft übernommen wurde.

Ebenfalls induktiv wurde vorgegangen, um aufzeigen zu können, in welchen Zusammenhängen das **Organisationswissen** der Lehrkräfte gefordert war. Nachdem über die Hälfte der Gesamtaussagen der Lehrer ihr Organisationswissen betrafen und dem entsprechend viele Sub-Kategorien entstanden, wurde für die bessere Übersichtlichkeit eine Zwischen-Ebene mit folgenden Überschriften eingeführt: Kollegium, Schul-Organisation, Ministerium, gesellschaftliches Umfeld. Damit ergab sich folgendes Kategoriensystem für Themen, bei denen nach Aussagen der Lehrkräfte ihr Organisationswissen gefordert war:

Tabelle 19: Kategoriensystem zum Organisationswissen

Überkategorie: Professionswissen Hauptkategorie: Organisationswissen Sub-Kategorien	Anz. Codings
Kollegium	
- Konflikte oder Dissonanzen im Kollegium	9
- Verteilung der Seminare in der Fachschaft	16
- Kollegen als Informationsquelle / Kooperation mit Kollegen	25
Schul-Organisation	
Vorgaben durch oder Handlungen der Schulleitung	
- Vorgegebene Bewertungsmodalitäten	18
- Freistellung von Schülern oder Lehrkräften im Zusammenhang mit den Seminaren	11
- Schulleitung fordert das Angebot von Seminaren	10
Organisatorische Herangehensweise innerhalb der eigenen Schule	18
- Gestaltung von Seminarwahl und Seminarwechsel	17
- Räumlichkeiten und Ausstattung für Durchführung der Seminare	16
- Organisation des BuS-Teils an der Schule	13
- Relative Lage der Seminarfächer im Stundenplan	17
- Konkurrenz mit anderen Fächern um Lehrerstunden	4

- Organisation von Veranstaltungen, Präsentationen oder Praktika innerhalb der Seminare durch die Schule	8
Ministerium	
Umsetzung von Rahmenvorgaben und rechtlichen Bestimmungen	21
Vorbildung und Fortbildung zu Seminarfächern	51
Schulpolitische Entscheidungen des KM in Bezug auf die Seminare	12
Finanzielle Ausstattung der bzw. finanzielle Themen im Zusammenhang mit den Seminaren	15
Gesellschaftliches Umfeld	
Privates Umfeld der Schüler und Elternhaus	3
Berufs- und Wirtschaftswelt	4
Externe Partner	
- Suche nach externen Partnern	42
- Themen im Zusammenhang mit dem Umgang mit externen Partnern	9
- Der externe Partner als Stellenwert-Geber	11
- Die Kooperation mit der Universität	65

Aufgrund der anfänglichen Fragehaltung nach neuen organisatorischen Problemen im Zusammenhang mit den Seminaren wurden einige der Sub-Kategorien auch hier direkt durch die gestellten Fragen angebahnt, zum Beispiel Äußerungen zur Verteilung der Seminare in der Fachschaft, zur Vorbildung in Bezug auf die Seminare oder zu den externen Partnern, insbesondere in Bezug auf die Zusammenarbeit mit der Universität. Die meisten der Sub-Kategorien entstanden aber ausschließlich induktiv, zum Beispiel die zu Kollegen in ihrer Rolle als Informationsquelle, Äußerungen über das Thema Freistellung von Lehrern und Schülern für die Seminare oder über die Lage der Seminare im Stundenplan.

Bemerkenswert ist hier, dass die Lehrkräfte sich relativ gesehen sehr häufig zum Thema Vor- und Fortbildung äußerten, zudem aber ihre Kollegen als wichtige Informationsquelle nannten. Der Bedarf nach mehr Information zum neuen Unterrichtsformat scheint also nicht hinreichend durch entsprechende systemische Angebote abgedeckt worden zu sein, was die zitierten Befunde der ISB-Umfrage bestätigt (Kap. 3.1). Auch die Frage nach externen Partnern allgemein und der Universität im Besonderen beantworteten die Lehrkräfte besonders ausführlich. Gerade in diesem Zusammenhang spielen Exkursionen eine Rolle, für die Lehrkräfte und Schüler freigestellt werden mussten. Dies war offensichtlich ein wiederkehrendes organisatorisches Thema im Zusammenhang mit den Seminarfächern.

4.5.2. Sub-Kategorien zum Anforderungsniveau

Sehr häufig berichten die Lehrkräfte in den Interviews einfach, wie der Unterricht ablief und thematisieren keinerlei Probleme. In solchen Fällen wurde davon ausgegangen, dass das Unterrichten im Seminarfach eine einfache **Anforderung** an ihr Professionswissen war, die sie aufgrund ihrer vorhandenen Kompetenzen problemlos erfüllen konnte. In anderen Fällen aber thematisierten die Lehrkräfte Probleme: „schwierig war“ oder „ein Problem war“ oder „wir haben länger gebraucht, um“. Solche Fälle wurden als Herausforderung an das Professionswissen der Lehrkraft gewertet. Wenn deutlich wurde, dass die Probleme erkannt und angegangen wurden und die Lehrperson im beschriebenen Moment für sich einen befriedigenden Weg des Umgangs mit dem Problem gefunden hatte, dann galt die **Herausforderung** als **bewältigt**. In einigen Fällen berichteten die Lehrkräfte von Problemen, die ihrer Ansicht nach nicht gelöst wurden: „Das haben wir nicht hingekriegt“ oder „daran sind wir letztlich gescheitert“ oder „das nächste Mal werde ich das anders machen“. Solche Aussagen wurden als **Herausforderung – nicht bewältigt** codiert, denn in solchen Fällen konnte die Lehrkraft nach eigener Einschätzung aufgrund ihres Professionswissens offensichtlich keinen Lösungsweg mehr finden. Weitere Fälle, die in diese Kategorie eingeordnet wurden, waren Aussagen, bei denen deutlich wurde, dass die durch das Seminar aufgeworfenen Herausforderungen gar nicht erst erkannt wurden. Wenn einer Lehrkraft offensichtlich nicht bewusst war, dass die Vorgaben des ISB für das P-Seminar die Behandlung des Themas *Projektmanagement* oder das Anfertigen eines Portfolios vorsehen, oder ihr nicht klar war, dass zu einer wissenschaftlichen Arbeit das Beantworten einer Frage bzw. Überprüfen einer Hypothese gehört, wurde dies ebenfalls als nicht bewältigte Herausforderung an das Professionswissen der Lehrkraft gewertet.

Das so entstandene Kategoriensystem (Tabelle 20) ist insofern **nominal skaliert**, als alle Kategorien sich gegenseitig ausschließen, exakt definiert und erschöpfend sind. Die Aussagen der Lehrkraft können in Bezug auf einen Kompetenzbereich des Professionswissens also nur entweder als *Anforderung* oder als *Herausforderung – bewältigt* oder als *Herausforderung – nicht bewältigt* codiert werden. Weiterhin liegt eine eindeutige Rangordnung der Skalenpunkte vor, womit ein weiteres Kriterium für eine Ordinalskala erfüllt wäre (Wirtz & Caspar, 2002, S. 45, 123). Zu beachten ist allerdings, dass dadurch, dass eine Doppelcodierung gleicher Textstellen in dieser Studie erlaubt ist, es grundsätzlich vorkommen kann, dass in einer beschriebenen Situation die didaktischen Anforderungen an die Lehrkraft kein Problem darstellten, während die fachwissenschaftlichen Herausforderungen nicht bewältigt wurden! Somit kann die gleiche Textstelle in Bezug auf unterschiedliche Kompetenzbereiche des Professionswissens auch unterschiedlichen Anforderungsniveaus zugeordnet werden.

Tabelle 20: Kategoriensystem zum Anforderungsniveau in Bezug auf CK, PCK und PK

Überkategorie: Professionswissen Hauptkategorie - Sub-Kategorien	Anz. Codings	% der Codings zum Professions- Wissen i.e.S.	% der Codings zur einzelnen Haupt- Kategorie
CK Fachwissen - Anforderung - Herausforderung – bewältigt - Herausforderung – nicht bewältigt	(144) 75 48 21	(17,3%) 9,0% 5,8% 2,5%	52,1% 33,3% 14,6% $\Sigma = 100,0\%$
PCK Fachdidaktisches Wissen - Anforderung - Herausforderung – bewältigt - Herausforderung – nicht bewältigt -	(278) 170 71 37	(33,4%) 20,4% 8,6% 4,4%	61,2% 25,5% 13,3% $\Sigma = 100,0\%$
PK Pädagogisch-Psychologisches Wissen - Anforderung - Herausforderung – bewältigt - Herausforderung – nicht bewältigt	(410) 287 84 39	(49,3%) 34,5% 10,1% 4,7%	70,0% 20,5% 9,5% $\Sigma = 100,0\%$
	$\Sigma = 832$	$\Sigma = 100,0\%$	

Aus Tabelle 20 wird ersichtlich, dass die Lehrkräfte sich insgesamt am häufigsten zu Anforderungen an ihr Pädagogisch-Psychologisches Wissen äußerten. Deutlich sieht man auch, dass die Lehrkräfte in der Mehrzahl der Fälle ihre Aufgaben im Seminar als Anforderung empfanden, bzw. auftretende Herausforderungen auf der Grundlage ihres Professionswissens bewältigen konnten. Betrachtet man aber die Aussagen zum Anforderungsniveau innerhalb der Haupt-Kategorien, so ergibt sich ein erstaunliches Bild: Von den Fällen, in denen nach eigenen Aussagen die Lehrkräfte an den Herausforderungen scheiterten, betrafen die meisten (14,6% der Fälle) das Fachwissen der Lehrkräfte! Diese Daten müssen also genauer hinterfragt werden, was im Ergebnisteil erfolgt.

In Bezug auf die Selbstregulation wurde ebenfalls eine Einordnung nach von den Lehrkräften nach eigener Aussage empfundenem Anforderungsniveau vorgenommen (Tabelle 21). Im Gegensatz zum Professionswissen haben die Lehrkräfte die Selbstregulation regelmäßig als Herausforderung empfunden. Offensichtlich beeinflussten die Seminare die persönliche Belastungssituation der Lehrkräfte, sodass diese ihr Zeitmanagement reflektieren mussten. Letztlich führte dies in der Mehrzahl der Fälle offensichtlich zum Erfolg, was die erwähnten Befunde des ISB zur Belastungssituation der Lehrkräfte in den Seminaren erklärt (siehe Kap. 3.2).

Tabelle 21: Kategorien zum Anforderungsniveau in Bezug auf die Selbstregulation

Hauptkategorie: Selbstregulation	Anz. Codings	%
Sub-Kategorien		
Anforderung	22	34,4%
Herausforderung bewältigt	32	50,0%
Herausforderung nicht bewältigt	10	15,6%

Ziel dieser Kategorisierung nach Anforderungsniveau ist, wie besprochen, letztlich die Identifikation der Aspekte von Seminarfächern, die für die Lehrkräfte eine Herausforderung darstellten. Inwiefern diese Herausforderung als NEU im Vergleich zum üblichen Chemieunterricht anzusehen ist, sollte durch die weitere Kategorisierung auf der nächsten Ebene nach Fachspezifität detektiert werden:

4.5.3. Sub-Kategorien zur *Fachspezifität*

Legt man die Rahmenvorgaben des Ministeriums für Seminarfächer auf das Modell des Professionswissens für Chemie-Lehrkräfte, so ergeben sich weite Überschneidungsbereiche. Diese würden Aspekten des Professionswissens der Lehrkräfte entsprechen, die sie für den üblichen Chemieunterricht gleichermaßen benötigen. Identifiziert werden im Sinne der Fragestellung müssten nun die Bereiche des durch die Rahmenvorgaben gesetzten Professionswissens, die bisher von den Lehrkräften nicht gefordert waren. Wie bereits deutlich wurde, dürfte dies zum Beispiel für das Projektmanagement oder die Berufsberatung gelten. Solche Aspekte des Professionswissens würden dann für die Seminarfächer spezifische Kompetenzen darstellen, was hier als *seminarfach-spezifisches Professionswissen* oder kurz **Seminarfach-Wissen** (*Sem-Wissen*) bezeichnet werden soll.

Die Kategorisierung des Materials unter dem Aspekt *übliches* versus *neues* gefordertes Wissen ergab eine weitere interessante Facette: Die Frage danach, ob eine Situation im normalen Chemieunterricht üblicherweise vorkommt und damit von der Lehrkraft Chemielehrer-typisches Wissen fordert, konnte auf der Grundlage der Erfahrungen der Codierer als Chemie-Lehrkräfte in der Regel leicht und mit großem Konsens beantwortet werden. Viele der darüber hinaus als nicht für den Chemieunterricht typisch aussortierten Situationen waren aber derart, dass sie einer Chemie-Lehrkraft im Gymnasium mit regelmäßiger Wahrscheinlichkeit durchaus begegnen – aber eben nicht im Zusammenhang mit ihrem Chemieunterricht, sondern mit allgemeinen schulischen Aktivitäten über ihren Fach-Unterricht hinaus! Beispiele hierfür sind alle

außerunterrichtlichen oder fachübergreifenden Aktivitäten wie Wandertage, Projekttag, Schul-AGs, Schulfreizeiten, aber auch nicht fachbezogene Exkursionen, etc. Weiterhin lässt sich zwischen Wissen unterscheiden, das Lehrkräfte aus anderen naturwissenschaftlichen Fächern ebenso hätten, Lehrkräfte der geisteswissenschaftlichen Fächer aber nicht (zum Beispiel zum Einsatz von Experimenten im Unterricht). Dieser Staffelung des Wissens nach Fachspezifität wird im Rahmen dieser Arbeit durch das in Abbildung 6 dargestellte Modell Rechnung getragen. Um genauer klassifizieren zu können, welcher Art das von den Lehrkräften durch die Seminarfächer geforderte Wissen ist, wurde auf der Grundlage dieses Modells in Bezug auf die Fachspezifität folgende Kategorien entwickelt und definiert (Abbildung 19):

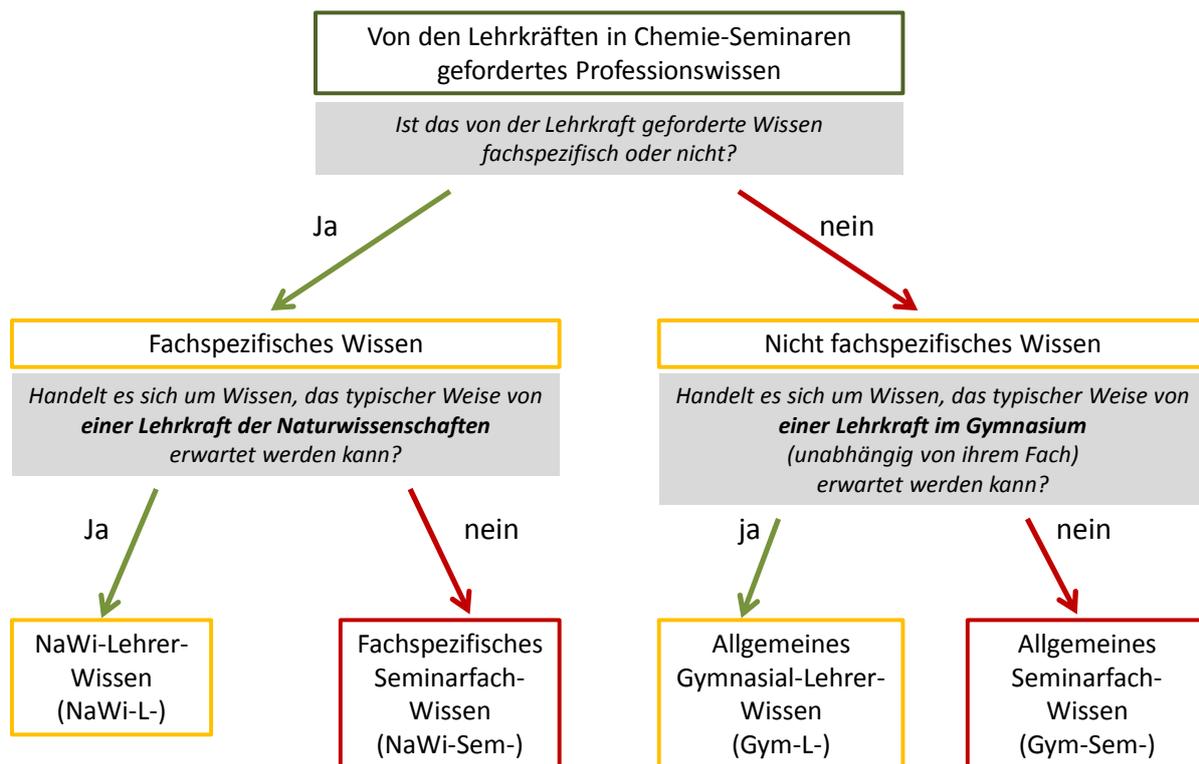


Abbildung 19: Bildung der Sub-Kategorien zur Fachspezifität des Professionswissens

Diese vier Kategorien wurden für alle drei Hauptkategorien CK, PCK und PK jeweils unter die Sub-Kategorien für das Anforderungsniveau, also unter *Anforderung / Herausforderung – bewältigt / Herausforderung – nicht bewältigt* gelegt und die Aussagen der Lehrkräfte entsprechend kategorisiert. Damit ergaben sich entsprechende Sub-Kategorien (Tabelle 22), aber auch ein scheinbares Dilemma in Bezug auf ihre eindeutige Definition: *Gibt es ein fachtypisches Pädagogisch-Psychologisches Wissen und ein fachunabhängiges Fachdidaktisches Wissen?* Wie im Theorieteil aufgezeigt, wird die Frage nach der genauen Abgrenzung von PCK und PK in der Literatur kontrovers diskutiert (Gess-Newsome, 2015; Hashweh, 1996; Kunter et al., 2011; Neuweg, 2011; Shulman, 2015; Tepner et al., 2012). Das Fachdidaktische Wissen wird meist als solches definiert, das nur die Fachlehrer haben: „PCK ist the dimension that only teachers [...] have and need“, also das Alleinstellungsmerkmal der – in unserem Fall – Chemie-Lehrer (Borowski et al., 2011). Das schließt aber nicht

aus, dass diese Lehrkräfte darüber hinaus über fachunabhängiges Didaktisches Wissen verfügen! In den Seminarfächern benötigten die Chemie-Lehrkräfte zum Beispiel Expertise dazu, wie man Schülern zu einem zielführenden Recherchieren im Internet anleiten kann oder was für eine gute Präsentation alles beachtet werden muss. Hier sind Inhalte betroffen, die fachunabhängig sind, bei denen aber eindeutig die Vermittlungskompetenz der Lehrkraft und damit ihr Didaktisches Wissen gefordert sind. Dem entsprechend wurde PCK für diese Studie weiter gefasst und nicht ausschließlich auf das Fach Chemie bezogen (siehe Kap. 2.4.4 und Codierleitfaden im Anhang) und die Sub-Kategorien *Gym-L-PCK* und *Gym-Sem-PCK* zugelassen.

Umgekehrt stellt sich die Frage, ob die Sub-Kategorien *NaWi-L-PK* und *NaWi-Sem-PK* ebenso begründet werden können, also von einem für das Fach Chemie typischen Pädagogisch-Psychologischen Wissen ausgegangen werden kann. Die Autoren der COACTIV-Studie bejahen diese Frage, weshalb auch diese Sub-Kategorien angewandt und zur Codierung herangezogen wurden. Wie aus Tabelle 22 entnommen werden kann, kommen Aussagen zu der Sub-Kategorie *Gym-Sem-PCK* vor, zu den Kategorien *NaWi-L-PK* und *NaWi-Sem-PK* jedoch nur zwei Ausnahmefälle. Diese Befunde geben Anlass, die Annahmen der COACTIV-Autoren in Bezug auf die Existenz eines fachspezifischen Pädagogisch-Psychologischen Wissens zu hinterfragen.

Tabelle 22: Kategoriensystem zur Fachspezifität

Sub-Kategorien	Anz. Codings	%⁴³
CK Fachwissen		
- Anforderung		
○ NaWi-Lehrer-Wissen (NaWi-L-CK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi-Sem-CK)	45	5,4%
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-CK)	4	0,5%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-CK)	9	1,1%
	17	2,0%
- Herausforderung – bewältigt		
○ NaWi -Lehrer-Wissen (NaWi-L-CK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi-Sem-CK)	29	3,5%
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-CK)	1	0,1%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-CK)	3	0,4%
	15	1,8%
- Herausforderung – nicht bewältigt		
○ NaWi -Lehrer-Wissen (NaWi-L-CK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi-Sem-CK)	7	0,8%
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-CK)	0	0,0%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-CK)	3	0,4%
	11	1,3%
PCK Fachdidaktisches Wissen		

⁴³Bezogen auf 100% = Gesamtzahl der Codings für CK, PCK und PK

- Anforderung		
○ NaWi -Lehrer-Wissen (NaWi-L-PCK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi-Sem-PCK)	130	15,6%
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-PCK)	4	0,5%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-PCK)	5	0,6%
	31	3,7%
- Herausforderung – bewältigt		
○ NaWi -Lehrer-Wissen (NaWi-L-PCK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi--Sem-PCK)	54	6,5%
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-PCK)	5	0,6%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-PCK)	0	0,0%
	12	1,4%
- Herausforderung – nicht bewältigt		
○ NaWi -Lehrer-Wissen (NaWi-L-CK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi--Sem-PCK)		
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-PCK)	19	2,3%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-PCK)	4	0,5%
	0	0,0%
	14	1,7%
PK Pädagogisch-Psychologisches Wissen		
- Anforderung		
○ NaWi -Lehrer-Wissen (NaWi-L-PK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi-Sem-PK)	1	0,1%
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-PK)	0	0,0%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-PK)	255	30,6%
	31	3,7%
- Herausforderung – bewältigt		
○ NaWi -Lehrer-Wissen (NaWi-L-PK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi-Sem-PK)	0	0,0%
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-PK)	1	0,1%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-PK)	29	3,5%
	54	6,5%
- Herausforderung – nicht bewältigt		
○ NaWi -Lehrer-Wissen (NaWi-L-PK)		
○ Fachtypisches Seminarfach-Wissen (NaWi-Sem-PK)	0	0,0%
○ Allgemeines Gymnasial-Lehrer-Wissen (GymL-PK)	0	0,0%
○ Allgemeines Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-PK)	3	0,4%
	36	4,3%

Deutlich lässt sich aus den Zahlen sehen, dass die Lehrkräfte in den Seminaren bei Weitem am häufigsten ihr fachunabhängiges pädagogisch-psychologisches Wissen als Gymnasiallehrkraft benötigten und die damit verbundenen Anforderungen problemlos bewältigten. Ebenso erfolgreich nutzten sie ihr didaktisches Vermittlungswissen als Naturwissenschafts-Lehrkräfte. Eine genauere Diskussion der Daten soll im Ergebnisteil folgen.

Wie dargestellt, wurde auch an die Haupt-Kategorien Organisationswissen OW und Beratungswissen BW die Frage nach der Fachspezifität gestellt. Durch Kategorisierung

der thematischen Sub-Kategorien (als Ganzes, nicht die Einzelcodings) analog der in Abbildung 19 dargestellten Vorgehensweise konnte identifiziert werden, in Bezug auf welche Themen ein für die Seminarfächer spezifisches Organisationswissen und Beratungswissen von den Lehrkräften gefordert war (Tabelle 23 und Tabelle 24) Organisatorisch war das fachtypische Wissen der Chemie-Lehrkräfte vor allem im Zusammenhang mit potenziellen externen Partnern oder Kooperationsmöglichkeiten gefordert. Unabhängig von ihrem Fach mussten sie zudem über potenzielle Sponsoren oder allgemeine Kooperationspartner wie Bibliotheken Bescheid wissen.

Im Gegensatz zum Organisationswissen ließ sich kein fachtypisches Beratungswissen identifizieren. Alle beschriebenen Beratungssituationen waren letztlich unabhängig vom Fach – wenn auch nicht zwingend typisch für den normalen Unterricht, wie zum Beispiel Coaching- oder Mentoring-Maßnahmen im Rahmen der Seminare.

Tabelle 23: Kategorisierung der Sub-Kategorien des Organisationswissens nach Fachspezifität

Sub-Kategorien Organisationswissen bezüglich Fachspezifität	Thematische Sub-Kategorien der Haupt-Kategorie Organisationswissen	% der Codings zum OW
Science-Lehrer- Organisationswissen	<ul style="list-style-type: none"> Räumlichkeiten und fachspezifische Ausstattung der Schule für die Seminarfächer (z. B. für spezielle Experimente) 	3,7%
Allgemeines Gymnasial- Lehrer- Organisationswissen	Alle anderen thematischen Sub-Kategorien des Organisationswissens (287 Codings von 430)	66,7%
Fachtypisches Seminarfach-Organisationswissen	<ul style="list-style-type: none"> Wissen über potenzielle externe fachtypische Spezialisten und Partner, zum Beispiel besondere Analyse-Labore oder Forschungseinrichtungen oder Kooperationsmöglichkeiten mit einem externen Partner an der Universität zu im Unterricht unüblichen Themen 	29,5% ⁴⁴
Allgemeines Seminarfach-Organisationswissen	<ul style="list-style-type: none"> Wissen über potenzielle externe fachunabhängige Spezialisten oder Partner, zum Beispiel Universitäts-Bibliothek für Recherche oder potenzielle Sponsoren 	

⁴⁴Eine eindeutige Trennung der Kategorien „fachtypisches Seminarfach-Organisationswissen“ und „Allgemeines Seminarfach-Organisationswissen“ war hier nicht möglich

Tabelle 24: Kategorisierung der Sub-Kategorien des Beratungswissens nach Fachspezifität

Sub-Kategorien Beratungswissen bezüglich Fachspezifität	Thematische Sub-Kategorien der Haupt-Kategorie Beratungswissen
Science-Lehrer- Beratungswissen	<ul style="list-style-type: none"> • Fachspezifische Beratungssituationen im Zusammenhang mit der Anleitung bei einer chemischen Seminararbeit oder im Chemie-bezogenen Projekt
Fachtypisches Seminarfach-Beratungswissen	-
Allgemeines Gymnasial- Lehrer-Beratungswissen	<ul style="list-style-type: none"> • Beratung bei Konflikten im Seminar • Beratungsgespräch zu Leistungen im Seminar
Allgemeines Seminarfach-Beratungswissen	<ul style="list-style-type: none"> • Fachunabhängige Beratungssituationen im Zusammenhang mit der Anleitung bei der Seminararbeit oder im Projekt • Beratung im Zusammenhang mit der Berufs- und Studienwahl • Coaching oder Mentoring innerhalb des Projektes

4.6. Qualitätskriterien für qualitative Forschung

Kritiker qualitativer Methoden fokussieren sich vor allem auf die Qualität der so generierten Ergebnisse. Im Gegensatz zu quantitativen Daten sind qualitative Resultate nicht per mathematische Operation überprüfbar. Flick diskutiert dieses Problem ausführlich (2007) und meint, dass die qualitative Forschung diesbezüglich nach wie vor unter einem starken Legitimationsdruck stehe. Es wird dem entsprechend nach möglichen Standards für die Beurteilung der Qualität solcher Forschung gesucht, wobei Flick aufzeigt, dass die Vielfalt der unter dem Begriff *qualitativ* zusammengefassten Methoden es unwahrscheinlich scheinen lässt, dass für alle diese Fälle passende Standards möglich sind (2007, S. 203-204). Hiermit wird offensichtlich, dass gerade in einer explorativ angelegten Studie nur schwer konkrete Qualitätskriterien angelegt werden können, denn eine der Stärken der Methode ist ja gerade die **Unvoreingenommenheit** des Herangehens. Im vorliegenden Fall sollte diese einerseits dadurch erreicht werden, dass offene Leitfadeninterviews geführt wurden, den Lehrkräften also überlassen wurde, was sie in welcher Ausführlichkeit erzählen wollten. Andererseits sollte diese Unvoreingenommenheit auch auf der Ebene der Auswertung des Materials beibehalten werden, weshalb die Länge der zu codierenden Einheiten nicht von vornherein festgelegt, sondern vom Codierer jeweils nach dem Sinngehalt frei bestimmt wurde. Während auf diese Weise das Qualitätskriterium der Unvoreingenommenheit in hohem Maße erfüllt werden konnte, ging dieser Gewinn auf Kosten anderer Gütekriterien:

4.6.1. Objektivität, Validität und Reliabilität

„Als **objektiv** gelten Messinstrumente oder empirische Verfahren, wenn die damit erzielten Ergebnisse unabhängig sind von der Person, die die Messinstrumente anwendet“ (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2008, S. 40). Um den Einfluss der Person zu minimieren, wurden für die Interviews die beschriebenen Regeln aufgestellt und für alle Befragungen befolgt (siehe auch 4.4, Explikation der kommunikativen Regeln). Als eine der wenigen konkreten Forderungen zum Erreichen einer Objektivität qualitativer Studien formulieren Przyborski et al., dass der Prozess der Kategorienfindung abgeschlossen sein muss, bevor das Material endgültig ausgewertet wird (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2008, S. 41). Die Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring sieht dagegen explizit das Überarbeiten des Kategoriensystems aufgrund der zugrundeliegenden Theorie und diskursiver Reflexion zwischen verschiedenen Codierern vor. Beide genannten Kriterien wurden im vorliegenden Fall berücksichtigt: Das Codiersystem wurde wie beschrieben diskursiv überarbeitet, die abschließende Auswertung und die beiden Zweitcodierungen aber erst aufgrund des endgültigen Kategoriensystems vorgenommen. Dadurch wurde die Objektivität der Studie im Rahmen des Möglichen sichergestellt.

Validität „kennzeichnet, ob und inwieweit die wissenschaftliche, begrifflich-theoretische Konstruktion dem empirischen Sachverhalt, dem Phänomen, auf welches sich die Forschungsbemühungen richten, angemessen ist“ (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2008). Damit, dass qualitative Forschung Ausgangsdaten generiert, die sehr nahe am betrachteten Phänomen sind, gewinnt sie an Gültigkeit. Qualitative Methoden knüpfen damit „an die Common-Sense-Konstruktionen der Untersuchten an [...] und [bauen] auf den alltäglichen Strukturen bzw. Standards der Verständigung auf [...]“ (Przyborski & Wohlrab-Sahr, 2008, S. 38). Im vorliegenden Fall werden die Aussagen unverändert betrachtet, durchlaufen also nicht den interpretativen Schritt der Paraphrasierung. Weiterhin geht es um im unmittelbaren Zeitraum ablaufende, das alltägliche Arbeitsleben betreffende Inhalte, zu denen die Lehrer sich auf der Grundlage ihres diesbezüglichen *Common-Sense* äußern. Damit wurde eine große zeitliche und inhaltliche Nähe zum Gegenstand geschaffen – und so ein Qualitätsmerkmal erfüllt, das auch Mayring für qualitative Studien fordert (2010, S. 118).

Als weiteres Kriterium für externe Validität wird die *Glaubwürdigkeit* definiert. Sie offenbart sich nach Cropley (2002, S. 119) darin, dass die Befunde von einer Fachleserschaft nachvollziehbar sind. Für die vorliegende Studie kann dieser Umstand als gegeben angesehen werden (Weirauch & Geidel, 2014, 2015, 2017; Weirauch, Geidel, Hörnig, & Seefried, 2015)⁴⁵. Als zusätzliches Kriterium für externe Validität fordert Cropley, dass sich die Befunde praktisch umsetzen lassen. Da sich aus den Ergebnissen dieser Studie unmittelbar didaktische Konzeptionen ableiten, die alle praktisch erprobt wurden (Kap. 6, 7, 8) sollte auch das Kriterium der Glaubwürdigkeit umfassend erfüllt sein.

Das dritte klassische Qualitätskriterium, die **Realibilität** beschreibt die Zuverlässigkeit einer Methode, die empirisch mit Messung der Reproduzierbarkeit belegt wird. Inwieweit solche Methoden für qualitative Forschung überhaupt anwendbar sind, wird vielfach hinterfragt: Split-Half-Techniken sind z. B. nach Steinke „nicht auf qualitative Forschung übertragbar“ (2010, S. 177). Für die qualitative Sozialforschung definieren Przyborski und Wohlrab-Sahr dennoch: „Qualitative Methoden sichern Reliabilität durch den Nachweis der Reproduktionsgesetzlichkeit der herausgearbeiteten Strukturen und durch das systematische Einbeziehen und Explizieren alltäglicher Standards der Kommunikation“ (2008, S. 40). Die *alltäglichen Standards der Verständigung* können für die vorliegende Studie beschrieben werden als *für das Gymnasium in Bayern übliche Chemie-Lehrer-Sprache* – also letztlich das, was die Community der Chemie-Lehrkräfte im Sinne eines *Common Sense* vereint. Cropley bezeichnetes als *Akkuratheit*, dass „der Forscher versteht, was die Teilnehmer sagen wollten“ und spricht von *Wahrhaftigkeit*, wenn sichergestellt wird, dass der Forscher die Aussagen richtig interpretiert (Cropley, 2002, S. 119). Dadurch, dass in der vorliegenden Studie gymnasiale Chemie-Lehrkräfte von einer Chemie-Lehrkraft interviewt und die Daten von zwei Gymnasial-Chemie-Lehrkräften codiert wurden, kann davon ausgegangen werden, dass alle unmittelbar an der Studie beteiligten

⁴⁵Sowie Vorträge GDCh 2012, 2013, 2014, 2016; GDCP 2014, 2016; ChemSyStM 2014; M!ND-Symposium 2013, 2015; Summer School 2016, Erfurt School of Education.

Personen in hohem Maße *eine Sprache sprechen*. In Bezug auf die erfolgte Kommunikation und ihre Interpretation kann also von einer hohen Wahrhaftigkeit und Akkuratheit der Studie ausgegangen werden.

Als weiteres Hauptkriterium für die Reliabilität einer Studie geben Przyborski und Wohlrab-Sahr an: „Sowohl auf der Ebene der einzelnen Fälle [...] als auch über die einzelnen untersuchten Fälle hinweg muss die Reproduktionsgesetzlichkeit [...] der herausgearbeiteten Struktur nachgewiesen werden. Es geht vor allem darum zu zeigen, dass Strukturelemente [...] nicht beliebig herausgegriffen sind, sondern sich sowohl im einzelnen Fall als auch über diesen hinaus systematisch finden“ (2008, S. 39). Dieser Anforderung wurde genügt, indem die Äußerungen der Lehrkräfte komplett codiert wurden. Zudem wurde direkt am unveränderten Material gearbeitet. Die Regeln zur Gewinnung der Kategorien, die theoriebasierte Gewinnung und Überarbeitung der Kategorien sowie das resultierende Kategoriensystem, die eindeutige Definition der Kategorien über Ankerbeispiele aus dem Material und die dazugehörigen Codierregeln wurden offengelegt. Schließlich wurden die Ergebnisse anhand von direkten Zitaten der Lehrkräfte aus den Interviews belegt und diskutiert. Damit wurde die Systematik der Vorgehensweise offengelegt und damit auch das von Mayring geforderte Kriterium der Regelgeleitetheit erfüllt (2010, S. 118).

Angesichts der aktuell umfangreich stattfindenden Diskussion über Möglichkeiten und sinnvolle Methoden der Qualitätssicherung für qualitative Forschung (Flick, 2007; Krippendorff, 2004; Mayring, 2002, 2010; Mayring & Gläser-Zikuda, 2008; Patton, 2002; Steinke, 1999, 2010) sind in den letzten zehn Jahren auch spezifisch auf die Qualitätssicherung bei Inhaltsanalysen ausgerichtete Kriterien entwickelt worden, die im Folgenden reflektiert werden sollen:

4.6.2. Qualitätskriterien für die Qualitative Inhaltsanalyse

Eine Wiederholung der Analyse durch eine oder mehrere weitere Personen mit dem Ziel, die so genannte **Intercoderreliabilität** zu ermitteln, ist das erste von Mayring vorgeschlagene spezifisch inhaltsanalytisches Gütekriterium (2010, S. 118). Allerdings wird streng genommen bei diesem Verfahren die Objektivität gemessen – nur bei Wiederholung der Analyse durch die gleiche Person wird die Unabhängigkeit von dieser Person belegt. Der rechnerische Vergleich der beiden Durchgänge ergibt dann die so genannte **Intracoderreliabilität**. Für die vorliegende Studie ergaben sich im Hinblick auf Intra- und Intercoderreliabilität mehrere Probleme:

Da die Codiereinheiten als Sinneinheiten festgelegt waren, können diese sehr unterschiedliche Längen haben. Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Codierer genau die gleiche Textstelle (inclusive Leerzeichen, Satzzeichen, Zwischenfragen des Interviewers, etc.) codierten, war also per se sehr gering. Dennoch wurden, entsprechend der Angaben verschiedener Autoren (z. B. Gläser-Zikuda, 2013; Gläser-Zikuda, 2015) je 25% des Materials sowohl von der Autorin zweitcodiert, als auch von

einem weiteren Zweitcodierer – und zwar entsprechend der Empfehlungen nicht bis in die letzte Unterebene, sondern nur bis zur Ebene der ersten induktiv gewonnenen Sub-Kategorien (Anforderungsniveau). Diese 25% wurden per Losverfahren zufällig bestimmt, wobei darauf geachtet wurde, dass jeweils drei P- und zwei W-Seminare betroffen waren (Tabelle 25).

Tabelle 25: Übersicht der zufällig für die Zweitcodierungen ausgewählten Interviews

	Liste der Interviews	Zweitcodierung Autorin	Zweitcodierung weitere Person
1	LF1-W1		
2	LF1-W2	X	
3	LF1-W3		X
4	LF1-P1	X	
5	LF1-P3		
6	LF1-P4		
7	LF1-P5		
8	LF1u2-P2		
9	LF1u2-P6	X	X
10	LF1u2-P7	X	X
11	LF1u2-P8		X
12	LF2-W1		X
13	LF2-W2		
14	LF2-W3		
15	LF2-W4	X	
16	LF2-P3		

Hier ergab sich als weiteres Problem, dass das Auswertungsprogramm MAXQDA die beiden verschieden tief codierten Durchgänge nicht vergleichen kann. Während zum Beispiel ein Textabschnitt insgesamt in die Haupt-Kategorie *Organisationswissen* eingeordnet wurde und damit als ein Coding gezählt wurde, galt die gleiche Stelle in der Erstcodierung als mehrere Codings, weil eine weitere Unterteilung nach thematischen Sub-Kategorien stattgefunden hatte. Auch das Rückcodieren der Codings in den Sub-Kategorien in die übergeordnete Haupt-Kategorie änderte daran nichts. Es blieb also nur die Möglichkeit einer händischen wieder-Vereinigung der Sub-Kategorien in die Hauptkategorie oder eine Zweitcodierung bis jeweils in die tiefste Ebene des Kategorien-Systems. Letzteres lässt aber schon aufgrund des komplexen Kategoriensystems keine befriedigende Reliabilität erwarten (Mayring, 2010, S. 117). Ein zusätzliches Problem ergab sich daraus, dass zumindest auf der Ebene der Hauptkategorien keine intervallskalierten Kategorien vorliegen. Damit ist die Ermittlung einer Inter-coderreliabilität in dieser Studie sowohl auf Ebene der

Haupt-Kategorien als auch auf der der Sub-Kategorien ausgeschlossen (Wirtz & Caspar, 2002, S. 36).

Weitere inhaltsanalytische Gütekriterien betreffen die Gültigkeit der Daten: Die **Semantische Gültigkeit** drückt sich „in der Angemessenheit der Kategoriendefinition aus“ (Mayring, 2010) und kann durch Expertenurteile überprüft werden, was durch die Expertise der Rater (selbst Lehrkräfte) sowie die regelmäßige diskursive Reflexion erreicht wurde (siehe auch Kap. 4.4, beteiligte Personen). Die **Stichprobengültigkeit** ist für die vorliegende Studie zu hinterfragen, da nur Lehrkräfte aus Schulen in Unterfranken befragt wurden. Es besteht die Möglichkeit, dass diese Gruppe nicht als repräsentativ für alle bayerischen Chemie-Lehrkräfte anzusehen ist. In Bezug auf Berufserfahrung, Verteilung auf Stadt- und Landschulen sowie auf W- und P-Seminare wurde versucht, trotz limitierter Verfügbarkeit der Chemie-Seminare eine möglichst gleichmäßige Verteilung innerhalb der Stichprobe zu erreichen. Eine **Korrelative Gültigkeit** konnte aufgrund der aufgezeigten geringen Forschungslage zum Thema nicht überprüft werden. Zwar gibt es vielfache Studien zum Professionswissen, aber keine, die die diesbezügliche Perspektive der Lehrkraft auf ihren naturwissenschaftlichen Unterricht betrachten. Auch ist keine Studie bekannt, die Chemie-Seminarfächer untersucht. Lediglich die Ergebnisse von Stolzenberger (2014) zu W- und P-Seminaren im Fach Physik verfolgen ähnliche Perspektiven, die aber für eine Validierung durch Korrelation mit der vorliegenden Studie nicht hinreichend ähnlich sind.

Die **Konstruktvalidität** ergibt sich aus drei Aspekten der Studie:

- Sowohl die Autorin als auch der Zweitcodierer verfügen über große Erfahrung mit dem Kontext des Materials. Beide sind Chemie-Lehrkräfte mit mehrjähriger Unterrichtserfahrung und beide verfügen über eine umfangreiche Vorbildung zu den Seminarfächern – die Autorin durch vielfältige Vorgespräche mit Fachleuten, der Zweitcodierer durch eigene Erfahrungen mit der Leitung von W- und P-Seminaren.
- Das COACTIV-Modell, auf dem das Kategoriensystem fußt, ist seit zehn Jahren deutschlandweit und international akzeptiert, vielfach validiert und kann als Standard-Modell für das Professionswissen angesehen werden.

Auch wenn die **Reproduzierbarkeit** der Analyse aus den oben genannten Gründen nicht wie üblich durch Krippendorff's Alpha oder Cohens Kappa belegt werden konnte, wurde versucht, eine möglichst hohe Exaktheit des Instruments zu erreichen. Wie bereits diskutiert, war die zugunsten einer maximalen Offenheit sehr flexibel definierte Auswertungseinheit hierbei das größte Hindernis. Als Alternative zu rechnerischen Verfahren schlagen Mayring und Gläser-Zikuda eine **diskursive Validierung** vor (2008, S. 13). Dem entsprechend erfolgte drei Tage lang zunächst die ausführliche **Schulung des Zweitcodierers** in Bezug auf theoretischen Rahmen, Logik und Inhalt des Codierleitfadens, Umgang mit dem MAXQDA-Programm und Üben des Codierens an nicht zu codierendem Material unter gegenseitiger Explikation des Verständnisses. Dann codierte der Zweitcodierer das zu codierende Material. Im

Anschluss wurden Erst- und Zweitcodierung auf dem von Gläser-Zikuda und Mayring beschriebenen Weg verglichen:

„Nur, wenn der Zweitcodierer den Erstkodierer überzeugen kann, dass eine Auswertung nicht dem Material oder den Regeln entsprechend vorgenommen wurde, wird dies als Nicht-Übereinstimmung gewertet [...]. Wenn allerdings die abweichende Auswertung des Zweitcodierers durch mangelnde Einsicht in Material oder Regeln zustande kam, wird dies nicht berücksichtigt“ (Mayring & Gläser-Zikuda, 2008).

In der diskursiven Betrachtung der Erst- und Zweitcodierung zeigte sich, dass bei der Unterscheidung zwischen CK, PCK und PK die beiden Codierer mit Hilfe der Codierregeln in den Einzelfällen sehr ähnlich entschieden. Naheliegend ist die Vermutung, dass die in Bayern übliche Einteilung des Lehramtsstudiums nach Fachwissenschaft, Erziehungswissenschaft und Fachdidaktik der Grund hierfür ist. Dass die prozentualen Anteile, mit denen in den drei Codier-Durchgängen die Aussagen zu den einzelnen Kategorien zugeordnet wurden (siehe Tabelle 15: Prozentuale Verteilung der Codierungen auf die Haupt-Kategorien), zum Teil stark differieren, ist sicher auch der diskutierten freien Wahl des Umfangs der Codiereinheiten zuzuschreiben. Insofern lässt sich im Vergleich der Erst-, Zweit- und Drittcodierung quantitativ nur anmerken, dass alle drei Durchgänge für alle Kategorien letztlich eine ähnliche bis sehr ähnliche Gewichtung ergaben (z. B. 55,6% / 50,2% / 50,5% für Aussagen zum Professionswissen).

Sowohl für die Kategorien, bei denen sich im Vergleich zwischen Erst-, Zweit- und Drittcodierung die größten Differenzen in der Anzahl der Codings ergaben, als auch für solche, bei denen die Codierer angaben, die größten Probleme mit der Zuordnung zu haben, wurde versucht, die Abgrenzung der Kategorien theoriebasiert klarer zu formulieren. Wie aus obiger Darstellung des Theoretischen Hintergrundes zu entnehmen ist, gelingt dies nicht immer. Zum Beispiel die Abgrenzung zwischen PK und PCK wird in der Literatur stark diskutiert und wird vermutlich aus der Natur der Sache heraus niemals eindeutig definiert werden können. Diese Unschärfe bildet sich sicher auch in den vorliegenden Daten ab, die aber dennoch klare Aussagen zulassen.

5. Ergebnisse der qualitativen Studie

Die Lehrkräfte haben sich in ihren Berichten über die Durchführung von W- und P-Seminaren zu allen Bestandteilen des Professionswissens geäußert. Am häufigsten, nämlich in je einem Viertel der Fälle, sprachen die Lehrer über Anforderungen an ihr Pädagogisch-Psychologisches Wissen PK und ihr Organisationswissen OW (Tabelle 26):

Tabelle 26: Anzahl der Codings zu den Aspekten des Professionswissens

	Zahl der Codings	Prozent
Überzeugungen und Wertehaltungen	154	9,5%
Motivationale Orientierung	75	4,6%
Selbstregulation	64	3,9%
Professionswissen:	(906)	(55,6%)
CK	144	8,8%
PCK	278	17,0%
PK	410	25,2%
BW	74	4,5%
OW	430	26,4%
SUMME relevante Codierungen	1629	100,0%
(Irrelevantes)	(316)	

Da keine analogen Daten für den *normalen* Chemieunterricht existieren, kann an dieser Stelle leider kein Vergleich gezogen werden. Dass eine Lehrkraft im Gymnasium in hohem Maße ihre Pädagogisch-psychologische Expertise benötigt, ist zu erwarten. Dem entsprechend äußern sich die Lehrkräfte auch im Zusammenhang mit den Seminarfächern zu allen dazugehörigen Facetten. Die Lehrkräfte berichteten generell davon, wie sie methodisch an die Umsetzung der Seminarfächer herangingen und zum Beispiel Leistungen einforderten oder erhoben. Das Eingehen auf die Heterogenität der Schüler und das Berücksichtigen ihres Vorwissens, ihrer Reife und ihres Alters gehörte zum Unterricht in den Seminaren ebenso hinzu, wie es zum üblichen Chemieunterricht gehört. Während das Thema Disziplin und Einfordern von Leistungen sowie das Motivieren der Schüler in den Seminaren gleichermaßen eine Rolle spielte wie im *klassischen* Unterricht, ergaben sich jedoch Facetten, die die Lehrkräfte vor besondere und vor allem neue, ungewohnte Herausforderungen stellten. Auf diese Facetten wird

im folgenden Kapitel 5.1 im Besonderen eingegangen. Eine detaillierte Zusammenfassung aller in der Studie ermittelten Anforderungen an das Fachwissen, Fachdidaktische Wissen und Pädagogisch-Psychologische Wissen der Lehrkräfte findet sich außerdem im Anhang der Arbeit. An dieser Stelle sollen zunächst die Ergebnisse zu Organisationswissen und Beratungswissen abgehandelt werden, bevor auf ausgewählte Erkenntnisse zum CK, PCK und PK der Lehrkräfte genauer eingegangen wird.

Organisationswissen

Auch in Bezug auf die Anforderungen an das Organisationswissen der Lehrkräfte ist der quantitative Vergleich mit *normalem* Chemieunterricht schwierig. Insgesamt lässt sich postulieren, dass sich bei Einführung eines neuen Unterrichtsformats die Lehrkräfte jedenfalls am Anfang stärker mit Organisatorischem zu beschäftigen haben, als das für erprobte, gewohnte Unterrichtsformate der Fall ist. Betrachtet man genauer, um welche Themen es bei den Aussagen der Lehrkräfte geht, so wird deutlich, dass die beschriebenen, für die Seminarfächer zu erwartenden neuen Aspekte des Organisationswissens tatsächlich von den Lehrkräften erbracht werden mussten. In einem Drittel der Fälle sprechen die Lehrkräfte von Belangen, die im normalen Unterricht in der Regel nicht vorkommen: Besonders relevant für die Seminarfächer ist demnach Wissen über potenzielle fachspezifische **externe Partner** wie Analyse-Labore, Radiologische Praxen oder Forschungseinrichtungen oder zu fachunabhängigen Spezialisten (potenzielle Sponsoren, Kindergärtner, Handwerker, Theater-Techniker, u. ä.). Damit ist davon auszugehen, dass die Chemie-Lehrer für die Durchführung der betrachteten W- und P-Seminare ihr kontextuelles Organisationswissen spezifisch erweitern mussten. Die Suche nach externen Partnern beschreiben viele der Befragten für die P-Seminare als schwierig:

„Die Nachteile an dem P-Seminar sind, wenn man wie wir jetzt hier so auf dem flachen Land ist, sich verdammt schwer tut mit wirklich interessanten, forschungsrelevanten Forschungsangeboten. Die man ja eventuell auch machen möchte. Solange sich das auf so eine Ebene, wie jetzt bei mir mit Chemie-Show bewegt und ich die Möglichkeit das habe, an der Schule zu machen, ist das in Ordnung. Aber wenn man dann tiefer in die Forschung hineingeht oder in die Problematik eingeht oder auf andere Firmen angewiesen ist, dann tut man sich mit einem P-Seminar hier schon ganz schön schwer“ (LF1-P3; Zeile 120)⁴⁶.

„Es ist eben schwierig wirklich externe Partner zu finden. Ich habe jetzt - man findet im Netz schon was, aber man wird jetzt nicht irgendwie [...] zugemüllt damit so. Also da ist natürlich auch noch die Unsicherheit: Viele Firmen wissen irgendwie wahrscheinlich mit dem Wort »P-Seminar« überhaupt noch gar nichts irgendwie anzufangen“ (LF1-P5; Zeilen 230-234).

⁴⁶Zitation der Original-Aussagen mit Kürzel für das entsprechende Interview sowie Zeile innerhalb des Transkripts.

Ein weiterer Aspekt, der durch die Seminarfächer und die Forderung nach dem Kontakt zu externen Partnern stärkeres Gewicht bekommt, ist das Alter der Schüler: „Und wir haben lauter Schüler, die sind sechzehn und siebzehn und haben kein Auto. [...] Und das ist genau unser großes Problem. Bei allen Seminaren“ (LF1-P3; Zeile 72-86). Damit wird die Transportlogistik bei einer Exkursion im Vergleich zu den früheren Leistungskursen deutlich erschwert. Ansonsten scheinen die vermehrten **Exkursionen** schulorganisatorisch funktioniert zu haben: „Wenn man es gut organisiert, und die Schulleitung das Gefühl hat es ist gut organisiert, kein Problem“ (LF1-P4; Zeile 173-176).

Je nach Lage der Schule sind solche Exkursionen verschieden leicht zu bewerkstelligen (z. B. LF2-W1; Zeile 29), womit das spezifische Wissen der Lehrkraft über den gesellschaftlichen Kontext der Schule gefordert ist. Offensichtlich wird hier aber auch, dass solche Exkursionen im Rahmen der Seminare trotz allen zeitlichen Aufwands zum Standard innerhalb der Oberstufe geworden sind. Ein solch zusätzlicher zeitlicher Aufwand kann durch ausfallen lassen von regulärem Seminar-Unterricht kompensiert werden. Viele Lehrkräfte dokumentieren daher, wie die Seminarstunden verbracht wurden, und belegen damit auch die Erfüllung ihrer Unterrichtsverpflichtung (z. B. LF1-W1; Zeile 171-173). Sowohl die zeitliche Flexibilität innerhalb der Seminare als auch der Umgang mit Alter und Reife der Schüler stellte über die beschriebenen organisatorischen Fälle hinaus die Lehrkräfte in anderen Bereichen vor besondere Herausforderungen. Der Vergleich der Aussagen der Lehrkräfte zu den Aspekten ihres Professionswissens in Bezug auf das Anforderungsniveau eröffnet dabei interessante Details (

Tabelle 27).

Tabelle 27: Vergleich der prozentualen Anteile zwischen den Anforderungsniveaus bezogen auf verschiedene Aspekte des Professionswissens

	Anforderung	Herausforderung - bewältigt	Herausforderung - nicht bewältigt	
	% innerhalb dieser Haupt-Kategorie (Anzahl Codings)			
CK	52,1% (75)	33,3% (48)	14,6% (21)	100% (144)
PCK	61,1% (170)	25,5% (71)	13,3% (37)	100% (278)
PK	70,0% (287)	20,5% (84)	9,5% (39)	100% (410)
BW	75,7% (56)	18,9% (14)	5,4% (4)	100% (74)

Es lässt sich erkennen, dass die Lehrkräfte in allen Belangen ihres Professionswissens in über der Hälfte der Fälle die auftretenden Anforderungen bewältigen. Auf die Fälle, in denen dies nicht galt, soll im nächsten Kapitel genauer eingegangen werden. Am leichtesten fiel den Lehrkräften die Bewältigung der Anforderungen offensichtlich in Belangen ihres Beratungswissens:

Beratungswissen

Im Gegensatz zu den Annahmen im Rahmen des COACTIV-Modells konnte im vorliegenden Fall durchaus einzelne fachtypische Beratungssituationen identifiziert werden, die dem entsprechend auch ein fachspezifisches Beratungswissen von den Lehrkräften verlangten, zum Beispiel im Zusammenhang mit der individuellen Anleitung bei einer chemischen Seminararbeit oder in einem Chemie-bezogenen Projekt über den Zeitraum des W- oder P-Seminars hinweg. Ansonsten mussten sich die Lehrkräfte allgemeinen gymnasialtypischen Beratungs-Aufgaben stellen, was ihnen in den meisten Fällen offensichtlich gelang. Nur in Einzelfällen artikulierten die Lehrkräfte Probleme:

„Aber am Anfang habe ich mir sehr schwer mit dem BuS-Teil getan. Und kam mir da auch so ein bisschen hilflos vor. Weil auf der einen Seite die Schüler nicht in einen Beruf reindrängen will. Weil die Schüler von einem erwarten, dass man eine komplette Berufsberatung macht. Und ich das als Nichtwirtschaftslehrer überhaupt nicht leisten kann.“ (LF1u2-P8; Zeile 14-16).

Neben der Berufsberatung, die von den Lehrkräften der P-Seminare relativ häufig thematisiert wurde, ging es in diesen Seminaren darum, durch Beratung Streit innerhalb der einzelnen Gruppen zu schlichten oder die Arbeit im Team zu optimieren. In den W-Seminaren sprachen die Lehrkräfte häufig davon, dass Schüler die Beratung zu ihren Experimenten und individuellen Seminararbeiten gar nicht erst in Anspruch nahmen oder so unvorbereitet kamen, dass die Beratung nicht effektiv durchgeführt werden konnte.

Neben den Herausforderungen an Organisationswissen und Beratungswissen mussten die Lehrkräfte innerhalb der Seminare primär solche an ihr Fachwissen, Pädagogisch-Psychologisches Wissen und Didaktisches Wissen bewältigen. Um welche Themen ging es dabei und was war *neu* für die Lehrkräfte?

5.1. Herausforderungen an Pädagogisch-Psychologisches und Didaktisches Wissen

Die Aspekte des Unterrichtsformats *Seminarfach*, die als erstes als *neu* ins Auge fallen, sind der fehlende Lehrplan und die Möglichkeit der flexiblen zeitlichen Umsetzung. Dem entsprechend äußerten sich die Lehrkräfte zu diesen gewährten inhaltlichen und zeitlichen **Freiheiten** (und damit letztlich auch zu Belangen ihrer Selbstregulation):

„Und das sind Dinge, die ich eben als Vorteil finde beim P-Seminar, dass du eben, du kannst dich nachmittags mit ihnen irgendwo treffen. Oder wie wir dann jetzt da abends treffen. Kannst das durchsprechen. Das ist zwar eine Arbeit, aber das fällt dir ja gar nicht auf“ (LF1-P3; Zeile 108-112).

„Weil es mir ja persönlich auch die Freiheit gelassen hat, dann zu arbeiten, wenn ich viel Zeit habe und weniger zu arbeiten, wenn ich wenig Zeit habe. Klar habe ich meine W-Seminartermine dann gemacht, wenn ich keine Klausur zu korrigieren hatte oder beziehungsweise dann auch auf die Schüler, wenn die halt nicht so die Klausur-Hochzeit hatten. Dann waren halt W-Seminartermine zum Beispiel“ (LF2-W4; Zeile 220-223).

„Prinzipiell [...] als riesen Vorteil. Weil man halt relativ frei war. Was mir am Anfang ein bisschen Bauchschmerzen bereitet hat, war wirklich die Frage: Wie kommst du zu deinen Noten? Also ich meine unter dem Druck steht man immer. [...] Als ich dann die Idee hatte mit diesen Personalgesprächen und so, dann war ich für mich klar, wie es funktioniert. Dann war ich da beruhigt. Aber im Großen und Ganzen habe ich es schon genossen. Weil man halt wirklich mal die Ideen der Schüler aufgreifen kann. Man hat keine [...] Vorschrift, was man jetzt machen muss. Man ist ja auch zeitlich relativ frei“ (LF1u2-P7; Zeile 520-521).

Die Lehrkräfte begrüßen also diese Freiheiten grundsätzlich sehr. Andererseits führt das **Fehlen konkreter Vorgaben** zum Beispiel zur Leistungserhebung auch zu Unsicherheiten – eine Ambivalenz, die für die Implementation neuer Freiräume aus der Forschung bekannt ist (Zeitler, Heller, & Asbrand, 2013, S. 112):

„Das Schlechteste finde ich wirklich, dass man als Lehrer erstmal gucken muss: Wie stellen die sich das eigentlich vor, was ist da realistisch zu erreichen? Was ich auch noch schwierig finde ist die Bepunktung“ (LF1-P1; Zeile 264-269).

„Das wovor ich ein bisschen Angst habe ist das Benoten. [...] Wir müssen ja immer alles benoten und ich weiß nicht genau, wie man so ein Projekt, wie man so ein Projektteam, benoten soll. Und individuell benoten soll. Ist schwierig, glaube ich“ (LF1u2-P6; Zeile 98-106).

„Also, so, das ist ja so eine Art soziales Bewerten fast schon. Das gefällt mir nicht. [...] Weil ich finde, dass man nicht alles bewerten muss. Also ich stelle es mir so vor, gerade bei dem Thema, dass die Schüler, die sich dafür gemeldet haben, dass die das

vielleicht auch ganz gerne machen wollen. Dass die jetzt nicht so extrinsisch über Noten motiviert werden müssen, weil es ja vielleicht auch Spaß macht, mit den Kindern was zu tun. Und ich habe halt so in der Art noch nie etwas bewertet. Das ist ja keine Schulaufgabe, wo ich sage, okay, jetzt so und so viele Punkte. Die und die Note. Deswegen glaube ich, dass ich da schon was zu packen habe“ (LF1u2-P6; Zeile 107-110).

Neben dem Umstand, dass es keine formalen Vorgaben gibt, war für die Lehrkräfte offensichtlich auch die **Leistungsdefinition** an sich ein Problem: Was ist innerhalb der Seminare als Leistung anzusehen? Außerdem ist die extrinsische Motivation durch Noten im Seminarfach nicht gegeben, da die Seminarfächer relativ zu den anderen Fächern für das Abitur wenig zählen (P-Seminar 3,3%, W-Seminar 6,7%). Die Motivation muss also woanders herkommen (z. B. LF1-P1; Zeile 349-355). Damit sind die Lehrkräfte in Kernbelangen ihrer Pädagogisch-Psychologischen Kompetenz gefordert.

Klassenführung und Diagnostik, Motivation und Disziplin

Die in Kapitel 3.3 und 3.4 beschriebenen Konzepte für den Ablauf und die Struktur der Seminare sehen vor, dass die Lehrkraft sich in W- und P-Seminaren vom „Organisator von Lernprozessen“ hin zum „Coach“ (Dauber, 2005) bewegen muss – und dabei eine im Vergleich zum *klassischen* Unterricht sehr andersartige Position einzunehmen und dadurch auch andere didaktische Wege zu gehen hat. Lehrer und Schüler stehen als direktes Gegenüber auf gleicher Augenhöhe im Dialog. Durch das spezielle Konzept der Seminare findet also ein **Rollenwechsel** der Lehrkraft zwangsläufig statt, wenn es zur Verantwortungsübergabe an die Schüler kommen soll (W. Habelitz-Tkotz & Hörnig, 2011). Im W-Seminar geht es dabei um individuelle fachliche Fragestellungen, die eine Herausforderung für das fachspezifische Faktenwissen der Lehrkraft darstellen können:

„Ja, weil die sich halt dann selbständig irgendwie mit dem Atkins zuhause hinsetzen und irgendwelche Dinge nachschlagen oder in irgendwelchen Uniseiten. Und dann stellen sie eine Frage wo ich [...] dann auch zugestehe, das weiß ich nicht, das kann ich nicht, das müsste ich nachschauen, schlag doch selber nach. Also das ist was, was ich auch gelernt habe. Einfach zu akzeptieren und nicht immer das Gefühl zu haben, ich muss der über Allem stehende sein, der alles weiß. Und das ist im P-Seminar und im W-Seminar ja noch wichtiger. Weil, weil die Schüler, wenn die sich vertiefen, mit einem Thema, dann [...] kommen manche wirklich dann hin, dass ich sage, naja gut, ich weiß das jetzt gerade nicht mehr. Wenn du das sagst, dass das so ist, dann ist das so. Oder ich lese es nochmal nach“ (LF1-P4; Zeile 214-220).

Neben dem fachspezifischen Chemie-Wissen, das vor allem im W-Seminar von den Lehrkräften gefordert ist, kommen im P-Seminar weitere Wissensbereiche wie die Berufsberatung oder projektspezifisches Wissen hinzu, die nicht zum üblichen

Chemielehrerwissen gehören. Gerade bei diesen zeigt sich das individuell verschiedene Umgehen der Lehrkräfte mit der Herausforderung an ihr Wissen:

„Aber ich bin schon so der Typ, dass wenn es Fragen gibt, dass ich die am liebsten gleich beantworte. Und schaue mir schon, gerade bei diesen Sachen, wo ich nicht viel weiß, wie bei dem BuS-Teil. Jetzt möchte Einer Berufsreferat über Astronaut halten. Und dann schaue ich mir das schon vorher genauer an, dass man den nicht irgendwie, oder dass ich nicht im Nachhinein irgendwie feststelle, der hat da ja lauter Mist erzählt [...] Also ich bereite mich schon, wenn ich Sachen nicht weiß, dann gerne darauf vor. Aber das ist, glaube ich, eher so eine persönliche Sache. Dass ich da eher so ein Sicherheitstyp“ (LF1u2-P8; Zeile 435-444).

„Sagen wir mal in der Richtung Chemie: ja. Da bin ich schon mal froh, dass ich da mehr weiß, weil ich sie ja da im Blick haben muss. Das ist eine ganz entscheidende Sache. Wenn du mich aber im puncto Technik fragst, wenn ich meine Techniker anschau, dann ist es schön, wenn man Leute dabei hat auf die man sich verlassen kann, [...] und die können mit Dingen umgehen, von denen du überhaupt keine Ahnung hast! [...] Der ist zuverlässig und der kann mehr als ich. Auf gut Deutsch, er kann was, ich kann da überhaupt nichts in dem Bereich! (lacht) Und dann lasse ich den machen und dann vertraue ich dem auch. Und da habe ich keine Probleme mit gehabt. Also in meinem, in meinem Fach wäre mir das schon ein wenig peinlich, wenn [...] Ja. Wenn Schüler mehr wüssten als ich“ (LF2-P3; Zeile 138-146).

Es geht also auch um den Grad der **Übergabe der Verantwortung** an die Schüler. Damit rückt das Thema **Disziplin** in den Fokus: Die Lehrkraft muss abwägen, inwiefern sie den Schülern vertraut, also Freiheit gewährt oder kontrollierend eingreift. Disziplinierungsmaßnahmen haben also nichts mehr mit dem Erreichen von Ruhe zu tun, denn bei Teamarbeit im Projekt oder Einzelarbeit im Labor geht es nicht darum, dem Lehrer zuzuhören. Es geht vielmehr darum, ein bestimmtes Ziel, nämlich die Seminararbeit oder das Projektziel zu erreichen – oder auch nicht, denn das vom ISB vorgesehene Seminkonzept sieht für das P-Seminar ausdrücklich auch die Option des **Scheiterns des Projektes** vor. Dies ist im W-Seminar nur bedingt möglich, denn für das Bestehen des Abiturs muss eine Seminararbeit abgegeben werden. Insofern unterliegen die Seminarfächer in Bezug auf die Wechselwirkung zwischen Disziplin und Leistung anderen Mechanismen, die im Folgenden getrennt für beide Seminare dargestellt werden.

5.1.1. PK und PCK im P-Seminar

Wenn im P-Seminar einerseits kein Antrieb aus den Noten kommt und andererseits das Projekt auch scheitern darf, was treibt dann Lehrkraft und Team eineinhalb Jahre zum Arbeiten? Inwiefern erbringen Schüler überhaupt eine Leistung und wie bringt man sie als Lehrkraft dazu? Allein der Umstand, dass man diese Frage stellt, sagt viel über die Mechanismen aus, die den üblichen Unterricht vorantreiben und verdeutlicht,

wie anders diese Seminare aus pädagogischer Sicht angelegt sind. Von Lehrkräften, die bisher einen eher lehrerzentrierten Ansatz bevorzugten, wird in P-Seminaren eine deutliche Umstellung ihrer Lehrhaltung verlangt. Die Lehrkräfte müssen für ein gelingendes P-Seminar die Balance schaffen zwischen Einfordern von Leistung einerseits und Loslassen andererseits, sodass die Schüler sich nach und nach das Projekt selbst aneignen und weitertragen. Dieses **Loslassen** ist für die Lehrkräfte eine sehr ungewohnte Haltung, die sie erst erlernen müssen:

„Und das ist ihre Verantwortung! Und ihnen das klar zu machen, dass das ihre Verantwortung ist. Das war also etwas, was, was ich sehr wichtig fand und was ich dann auch gelernt habe in dem P-Seminar, dass man sich auch darauf verlassen kann, dass sie irgendwann auch begreifen, dass es ihre Verantwortung ist“ (LF2-P3; Zeile 32-38).

„Und mir fällt es jetzt auch viel leichter als beim ersten Projekt, mal los zu lassen und zu sagen: Okay, ist euer Projekt. Wir gucken mal. [...] Auch dieses »Ich lasse sie mal selbst machen«. Selbst wenn sie auf die Nase fallen. Das war auch etwas, was mir extrem schmerzlich gefallen ist. Was mir jetzt viel leichter fällt“ (LF1u2-P8; Zeile 54-56 und 118).

Dem Loslassen steht andererseits die Notwendigkeit des Einforderns von Leistung gegenüber. Allerdings besteht diese Leistung eben nicht daraus, das Projekt zu einem erfolgreichen Ziel zu bringen. Die Leistung, die die Schüler erbringen, besteht aus den vielen kleinen Einzelaufgaben, die jedes Team-Mitglied zuverlässig zu erbringen hat (z. B. LF1u2-P8; Zeile 282-284). Beim diesem Einfordern der Teilleistungen muss die Lehrkraft also als antreibende Kraft wirken. Und letztlich sind dies auch die Inhalte, die im P-Seminar als **Leistung** erfasst werden müssen. Damit wird deutlich, dass methodisch gesehen die Lehrkraft ein Unterrichtsverfahren anlegen muss, das die Bildung von Teams, die Arbeitsteilung und das Identifizieren von zu erledigenden Einzelschritten und Einzelaufgaben durch die Schüler vorsieht – und damit ein **Projektmanagement**. Wie herausfordernd die Projektion des Projektmanagements auf den Unterricht einerseits, dessen unterrichtliche Umsetzung und die Balance zwischen Eingreifen und Loslassen andererseits für die Lehrkräfte sind, zeigen ihre Äußerungen:

„Und gerade durch diese Teambildung, dadurch das man, wie soll ich sagen? Diese diese Arbeitswelten oder dieses Zusammenfügen, dieses Zusammenwachsen von den einzelnen Teams MITKRIEGT. Und auch MITKRIEGT, wenn die Schüler nicht so gut miteinander können und das Projekt dann droht zu scheitern. Ja, es ist auf der einen Seite eine ganz spannende Sache. Auf der anderen Seite war es schwierig für mich, inwieweit soll ich eingreifen? Und das nicht an mich ranlassen. Also die eine Schülerin hat dann wirklich so (...) / Die war erst Teamkoordinatorin und keiner hat auf sie gehört. Weil sie auch immer so chefmäßig aufgetreten ist“ (LF1u2-P8, Zeile 114).

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die für ein P-Seminar notwendige Pädagogik, die nicht mit extrinsischer sondern intrinsischer Motivation arbeitet, mit einer distanzierten Lehrerhaltung nicht vereinbar ist. Die Interaktion auf persönlicher Ebene und im zwischenmenschlichen Bereich ist unausweichlich notwendig. Eine solch stark pädagogisch ausgerichtete Lehrhaltung ist für Chemie-Lehrkräfte, die ihre Autorität stark über ihre Rolle als Lehrender definieren und die Planbarkeit des lehregeleiteten Unterrichts bevorzugen eine große Herausforderung, deren Bewältigung maßgeblich von der Bereitschaft der Lehrperson hierzu abhängt.

Abgeleitet aus den Äußerungen der Lehrkräfte über ihre Erfahrungen in den P-Seminaren ergeben sich für die Gestaltung von P-Seminaren folgende pädagogische und didaktische Orientierungspunkte:

Für ein P-Seminar sollte die Lehrkraft ...

1. ... ein festes Ziel vorgeben in Form eines klaren Rahmens für ein Projekt, dessen Inhalt von den Schülern ausgestaltet werden kann.
Nur in Ausnahmefällen wird das Abschließen von Dienstleistungsverträgen mit externen Partnern ein in der zur Verfügung stehenden Zeit bewältigbares Projekt sein. Auch für die Suche nach einem konkreten Projekt ist im Rahmen eines P-Seminars keine Zeit. Das Projektziel an sich muss also vorgegeben werden, auch wenn das genaue *WIE* von den Schülern bestimmt werden muss, damit es IHR Projekt ist. Besonders wichtig für die Aneignung des Projekts ist einerseits, dass das Projektziel für die Schüler **interessant** ist. Weiterhin ist der **Echtheitscharakter** des Projektes ausschlaggebend. Dieser kann besonders durch Einbinden von externen Partnern erreicht werden – zum Beispiel als Berater oder Kooperationspartner. Aneignung, Interesse und Echtheitscharakter erbringen letztlich die Motivation, die zum Ziel trägt.
2. ... den Schülern die Schritte zum Erreichen dieses Ziels in Form von Methoden des Projektmanagements an die Hand geben, und diese Schritte einfordern. Gehen müssen die Schüler sie dann selbst! Hierzu muss das Projektmanagement expliziter Inhalt des Seminars sein. Weiterhin sind für das Einfordern der Schritte eine funktionierende und festgelegte Kommunikationsstruktur innerhalb des Seminars sowie klare und gemeinsam artikulierte Zielvereinbarungen notwendig.
3. ... von den Schülern verlangen, die INHALTE dieser Schritte sowie des letztendlichen Projektes selbst zu bestimmen.
4. ... immer wieder klarstellen, dass das mit-Inhalt-Füllen ihre Verantwortung ist.

5. ... den entscheidenden Moment für das Loslassen erkennen und es dann auch tun. Kein Sicherheitsnetz bauen, sondern gerade im Anfangs-Prozess Scheitern erleben lassen! Am (folgenlosen, da unbenoteten) Scheitern lernen die Schüler häufig am meisten – eine Situation, die im normalen Unterricht viel zu selten zugelassen werden kann.
6. ... das Loslassen lange genug aushalten.
7. ... Raum schaffen für Zwischenmenschliches.
Wie aus den Äußerungen der Lehrkräfte herausgelesen werden kann, gehen die wertvollsten Lernprozesse im P-Seminar mit dem Finden der eigenen Rolle und dem Auseinandersetzen innerhalb eines Teams sowie der Kommunikation mit zum Teil fremden Menschen in neuen Situationen einher. Lerndimensionen, die essentielle Kompetenzen nicht zuletzt für das spätere Berufsleben betreffen (Zuverlässigkeit, Eigenständigkeit, Kommunikationsfähigkeit). Das Auffangen und Thematisieren dieser Prozesse und die Hilfestellung dabei benötigen ausdrücklich Zeit und Raum – etwas, was im normalen Unterricht selten möglich ist, im P-Seminar aber schon. Unbedingt wünschenswert wäre in dieser Hinsicht das institutionalisierte Integrieren einer mehrtägigen gemeinsamen **Exkursion** in das Konzept P-Seminar.
8. ... akzeptieren, wenn weder Zwischenmenschliches noch die komplette Aneignung des Projektes durch die Schüler gelingt.
Auch wenn das Handwerk des Projektmanagements so beherrscht wurde, dass eine gute Strukturierung des Seminars vorlag, auch wenn ein klares Projektziel gegeben war und Leistungen zu bestimmten Meilensteinen eingefordert wurden, auch wenn der Echtheitscharakter des Projektes durch die Kooperation mit guten externen Partnern gegeben war, garantiert dies angesichts der Bedeutung des Persönlichen und Individuellen innerhalb des P-Seminars das Gelingen insgesamt nicht – macht es aber nach Meinung der Autorin sehr viel wahrscheinlicher!

Die aufgeführten Empfehlungen gehen auf die Erkenntnisse der Lehrkräfte aus ihren Erfahrungen mit P-Seminaren zurück. Dass die Lehrkräfte mit ihrer Erfahrung auch eine veränderte Herangehensweise an die P-Seminare entwickeln, kann aus dem Vergleich zwischen befragten Lehrkräften mit und ohne Vorerfahrung mit P-Seminaren abgeleitet werden (Tabelle 28).

Tabelle 28: Vorerfahrung und Fachspezifität der Anforderungen bei P-Seminaren

<i>Prozentuales Verhältnis zwischen den fachspezifischen und fachunabhängigen Anforderungen folgender Kohorten von Chemie-Lehrkräften:</i>		
	ohne Vorerfahrung P-Seminar	mit Vorerfahrung P-Seminar
fachunabhängiges, allgemeines Gymnasiallehrer-Wissen	24,2%	43,0%
fachspezifisches NaWi-Lehrer-Wissen	19,2%	17,3%
fachunabhängiges Seminarfach-Wissen	49,2%	36,9%
fachspezifisches Seminarfach-Wissen	7,5%	2,8%

Offensichtlich benötigten die Lehrkräfte für die Durchführung der P-Seminare ihr fachtypisches Wissen generell nur relativ selten – die Anforderungen an die Lehrkraft sind demnach wenig Chemie-spezifisch. Mit zunehmender Erfahrung mit der Durchführung von P-Seminaren wird den Lehrkräften anscheinend die Bedeutung pädagogischer Aspekte für die P-Seminare in wachsendem Maße bewusst. Diese Befunde bilden möglicher Weise die Entwicklung der oben beschriebenen veränderten Lehrhaltung bei der Durchführung von P-Seminaren ab.

5.1.2. PK und PCK im W-Seminar

Im Gegensatz zum P-Seminar kann ein Scheitern im W-Seminar nur bedingt zugelassen werden, denn die Note der Seminararbeit geht direkt ins Abitur ein. Dennoch soll auch hier ein selbstbestimmtes Vorgehen der Schüler erreicht werden (ISB, 2007). Betrachtet man die angeführten Wege mit denen die genannten Ziele erreicht werden sollen genauer, so stellen sie eine Mischung aus Mikro- und Makromethoden, Sozialformen und Einzelleistungen dar, die das angegebene Ziel der Eigenständigkeit der Schüler nicht zwingend erbringen. Eindeutig ist aber, dass der Eigentätigkeit und Eigenverantwortlichkeit der Schüler eine große Bedeutung zugemessen wird. Wie kann eine solche Eigenverantwortlichkeit der Schüler für ihr wissenschaftliches Arbeiten erreicht werden? Nach Aussagen der Lehrkräfte ist dies nicht einfach:

„Als ich gemerkt habe, sie kommen nicht in die Gänge. Machen nichts. Das war (...) frustrierend. Und vor allem, es ist nicht nur so, dass sie nicht praktisch irgendetwas gemacht haben, sondern sie haben sich auch nicht in ihr Thema wirklich eingearbeitet. Viele. Weil natürlich ist es nicht so, das auf Anhieb jedem klar ist, ich mache jetzt das und das und das. Sondern die müssen sich ja erst mal wirklich in ihr Thema vertiefen und dann erst mal gucken, was könnte ich da eigentlich daraus machen? Und das ist halt bei vielen nicht passiert. Also Joghurt-Herstellung, die wollten das ja auch. Also BITTE, das ist ja banal“ ... (LF2-W2; Zeile 298-302).

Das Ziel wäre also, dass sich die Schüler selbst in das fachliche Thema einarbeiten – was nach Meinung der Lehrkräfte allerdings nicht passiert. Dem entsprechend frustriert äußern sich gerade zu Beginn des G8 die Lehrkräfte zu den Leistungen der Schüler. Ausgehend von ihren Erfahrungen mit Facharbeiten in den **Leistungskursen** erwarten sie von den W-Seminararbeiten Ähnliches und so formulierte eine Lehrkraft in der online-Befragung:

„Die Erfahrung im laufenden W-Seminar zeigt mir, dass die Seminararbeiten vom Niveau her weit niedriger als die ehemaligen Facharbeiten sein werden. Eine Zusammenarbeit mit der Uni wird dadurch in Zukunft erschwert. [...] Die fachlichen Kompetenzen sind also meilenweit von ehemaligen LK-Schülern entfernt. Zudem sind die Oberstufenschüler mit Stundenplänen bis zu 38 Wochenstunden belastet, sie sehen die Seminare also eher als zusätzliches Übel“ ...⁴⁷

Oder ein anderer Befragter im Interview:

„Und mir hilft natürlich die Erfahrung, mit den Facharbeiten schon viel dabei. Und das ist ganz klar. Wobei es natürlich manchmal auch schwierig ist [...] wenn man diese Erfahrung mitbringt und weiß, wie es früher gelaufen ist, wo man die eigentlich sehr selten gesehen hat und die eigentlich dann doch bessere Arbeiten gemacht haben, wie die heute, obwohl die ja jedes, jede Woche betreut werden, das ist (...) ja...

⁴⁷Mail vom 10.11.2010

schwierig. [...] Und (...) ich weiß nicht an was es liegt, aber ich habe mir das - ich habe letztes Jahr dann wirklich doppeltes Programm gehabt: [...] erst die vom G8, dann die vom LK. Und sie waren von der Qualität her war es halt wirklich ganz deutlicher Unterschied. (LF1-W2; Zeile 103 und 105).

Die Übergabe der Verantwortung für das Aneignen der fachlichen Inhalte scheint also weitgehend gescheitert. Auch hinsichtlich eines anderen Aspekts formuliert eine Lehrkraft zum Vergleich mit dem Leistungskurs:

„Es ist schwieriger als im Leistungskurs. Weil im Leistungskurs habe ich meine Leute immer fünfmal die Woche gesehen. Und jetzt, wenn ich, wenn die nicht bei mir sind, habe ich einfach das Problem, dass ich hier im Schulhaus rumrennen muss und die suchen muss“ (LF2-W1; Zeile 143).

Damit wird offensichtlich, dass neben dem fachlichen Anspruch auch das Miteinander im W-Seminar nicht mit den Leistungskursen vergleichbar ist. W-Seminare sind in vielen Belangen anders – nicht zuletzt in Bezug auf das **Vorwissen**, mit dem die Schüler in die Seminare kommen: Während Chemie-Leistungskurse nur für Schüler aus dem NTG-Zweig des Gymnasiums offenstanden, können alle Schüler, auch solche aus anderen Zweigen ein W-Seminar Chemie wählen und sind nicht verpflichtet, parallel den entsprechenden Oberstufenkurs zu belegen. Damit starten die Schüler grundsätzlich mit ihrem Mittelstufen-Vorwissen ins W-Seminar und müssen eventuelle fachliche Expertise erst im Rahmen ihrer Arbeit erwerben. Und ein weiterer Aspekt unterscheidet die Leistungskurse maßgeblich von den W-Seminaren:

„Also ich hatte jetzt, ich hatte vorher, ich hatte vier Leistungskurse. Vier Chemieleistungskurse [...] da hatte ich ein W-Seminar über Kunststoffe. Und habe gedacht: Naja, das dürfte eigentlich überhaupt kein Problem sein. Die führe ich ja mehr oder weniger dahin. Und die Leistungskursler, die waren ja eigentlich komplett auf sich allein gestellt. [...] In der Chemie noch mehr als in (...) anderen Fächern, weil da ja irgendwo ihren praktischen Teil meistens im Labor gemacht haben. Aber man merkt, dass die fast zwei Jahre älter waren. Also die, das sind Kinder, die muss man an der Hand nehmen. Was da für Dinge kamen. Wie die in das Labor gekommen sind teilweise. Ohne irgendeinen Plan zu haben, was sie hier machen wollen, das ist brutal. Und auch von der, von der Qualität der Seminararbeiten, wie ich die dann gelesen habe, ich war echt enttäuscht. Ich bin dann wirklich mit meinen Ansprüchen runtergegangen, weil ich gesagt habe: Okay, ich muss dem Alter auch gerecht werden. Ich kann nicht von einem 17-jährigen das verlangen, was ich von einem 19-jährigen verlangt habe. Also es ist schon ein Unterschied“ (LF1-W1; Zeile 30-32).

Diese Erkenntnisse zu Vorwissen, Miteinander und Reife der Schüler haben sich im Laufe der ersten Jahre der Durchführung von W-Seminaren unter den Lehrkräften herumgesprochen und lässt sich auch aus dem Vergleich zwischen Lehrkräften mit und ohne Vorerfahrung ablesen (Tabelle 29).

Tabelle 29: Vorerfahrung und Fachspezifität der Anforderungen bei W-Seminaren

<i>Prozentuales Verhältnis zwischen den fachspezifischen und fachunabhängigen Anforderungen folgender Kohorten:</i>		
	ohne Vorerfahrung W-Seminar	mit Vorerfahrung W-Seminar
fachunabhängiges, allgemeines Gymnasiallehrer-Wissen	37,7%	43,0%
fachspezifisches NaWi-Lehrer-Wissen	54,7%	42,3%
fachunabhängiges Seminarfach-Wissen	5,7%	10,1%
fachspezifisches Seminarfach-Wissen	1,9%	4,6%
Σ	100,0%	100,0%

Die Lehrkräfte gingen offensichtlich mit Vorerwartungen aus den Leistungskursen in die Seminare und nutzten vor allem ihr fachspezifisches NaWi-Lehrer-Wissen. Im Laufe des W-Seminars änderten sie ihre Haltung und brauchten nach eigenen Angaben bei der nächsten Durchführung in stärkerem Maße fachspezifisches und fachunabhängiges Seminarfachwissen. Dies äußerte sich zum Beispiel in einer anderen Herangehensweise an die **Input-Phase** des Seminars. Viele der Befragten folgten zunächst dem Vorschlag des ISB und verbrachten große Teile des ersten Halbjahres mit der Wiederholung oder Einführung grundlegender fachlicher Inhalte. Nach Aussagen der Lehrkräfte konnten die Schüler diese Inhalte für ihre individuelle Arbeit aber dann nur wenig brauchen, da sie alle sehr verschiedene und spezifische Themen bearbeiteten (LF1-W3; Zeile 34-36). Viel dringender benötigen die W-Seminar-Schüler eine Anleitung in Bezug auf Methoden des Recherchierens und des wissenschaftlichen Arbeitens selbst:

„Ich würde viel weniger fachlich reinnehmen - also, Chemie-fachlich - in den ersten Teil. ich würde viel mehr auf Dinge eingehen noch wie beispielsweise: Arbeit mit Word. Arbeit mit ChemScetch, Arbeit mit dem Formelmaker von Klett beispielsweise. Das, was dann für die Erstellung der Seminararbeit eigentlich noch dringlicher bräuchten. Oder auch Recherche in irgendwelchen Datenbanken zu Chemikalien. Das habe ich zwar angesprochen, ich habe es ihnen gezeigt, aber zeigen reicht nicht. Also weil die sich mit Word einfach gar nicht auskennen. Mit Formatvorlagen und wo stelle ich was ein und - ah, das ist ein Drama! [...] Und das würde ich glaub ich im ersten Teil, dass da wirklich jeder da einzelne Sachen gemacht haben muss. [...] Das würde ich anders machen“ (LF2-W3; Zeilen 102-115).

Neben einer anderen Gewichtung der Inhalte für die Input-Phase sprachen die Lehrkräfte sehr häufig über das Problem der **individuellen Themenfindung** der Schüler:

„Ich habe gesagt, sie können sich welche aus der Themenliste nehmen. Ich war aber auch durchaus / Oder wäre bereit gewesen, wenn sie gesagt hätten: "Oh, mich würde aber das und das interessieren!" Zu sagen: »Dann nehmen wir halt ein ganz anderes Thema!« Hat aber keiner gemacht, in diesem Jahr. [...] Das war das letzte Mal anders“ (LF2-W3; Zeile 287-310).

Ausgehend von ihren Vorerfahrungen aus anderen W-Seminaren stellt eine weitere Lehrkraft die Bedeutung des individuellen Themas für die **Motivation** der Schüler heraus und sagt:

„ein wichtiger Punkt ist auch, dass sie wirklich eigene Interessen mit einbringen können. Also das will ich dieses Mal wirklich auch von denen mehr erzwingen. Dass ich (...) dass ich es eben nicht zulasse, dass er dann sagt: »Whoa, ich nehme halt da 1.1 [aus der Liste]« Sondern ich muss sie irgendwie dazu bringen, dass sie wirklich Eigeninteressen mit reinbringen [...] da muss ich halt selber ein bisschen mehr aktiv werden, wie das letzte Mal. Das habe ich schon auch gemerkt“ (LF1-W2; Zeile 129-137).

Dieses Erzwingen des Einbringens von Eigeninteresse beschreibt die Lehrkraft aber als besonders schwierig:

„Wobei es da natürlich - das war letztes Jahr auch wirklich die Schwierigkeit - ich meine, ich kann mich ja nicht neben jeden setzen und sagen: »Jetzt such mal und such mal die Fragestellung, die du bearbeiten willst«. Das war halt - da ist man sehr viel auf die Selbstständigkeit der Schüler auch angewiesen. Und ich habe mich dann immer wieder mit denen getroffen und alles, was sie gesagt haben: »Ja, ich habe noch nichts gefunden«. Was machst du denn dann?“ (LF1-W2; Zeile 114-119)

Damit wird klar, dass gerade an dieser Stelle die enge und kleinschrittige Begleitung der Schüler notwendig ist. Die Schüler können nicht wissen, wofür sie sich interessieren, wenn sie keinen Überblick über das Themengebiet haben – ihnen sind die fachlichen Hintergründe und damit potenzielle Fragestellungen gar nicht bewusst. Weiterhin gilt es, potenzielle Fragestellungen dahingehend abzuschätzen, wie sie gegebenenfalls experimentell überprüft werden können. Dazu gehört ein Begriff davon, welche **wissenschaftlichen Methoden** grundsätzlich zur Verfügung stehen und welche für diese Fragestellung geeignet sind.

„Ja, wobei »Wie schreibe ich so ein Ding«, das ist nicht das Problem. Das war auch jetzt nicht das Problem. Das machen die dann schon. [...] Wie finde ich wirklich eine Fragestellung, die ICH mit MEINEN Möglichkeiten beantworten kann. Wie finde ich einen Versuch der dazu passt und (...) Gut, dann bei denen hat es dann wirklich auch daran gehakt, dass sie die Versuche, die sie gemacht haben zum Teil halt nicht

gescheit ausgewertet haben. Dann wirklich so Kindergartenversuche gemacht haben mit Joghurt anrühren und nach einem Tag ist er fest“ (LF2-W2; Zeile 527-529).

Die eigentliche Aufgabe der Lehrkraft muss also darin bestehen, den Schülern einerseits einen so hinreichenden Überblick über mögliche fachliche Themen zu geben, dass sie ihr Interesse spezifizieren können und ihnen andererseits dabei zu helfen, experimentelle Methoden zu definieren, die zur Untersuchung dieser Themenbereiche geeignet sind und einen machbaren Schwierigkeitsgrad haben. Gerade letztgenannte Einschätzung kann nur durch die Lehrkraft erfolgen! Erst anschließend ist die Formulierung einer Fragestellung realistisch möglich. Mit der hierfür notwendigen engen individuellen Begleitung wird eine Komponente des Professionswissens der Lehrkraft besonders gefordert, nämlich das **fachspezifische Beratungswissen** des Chemie-Lehrers. Lehrkraft und Schüler begegnen sich individuell in unmittelbarem Einzelgespräch – eine Situation, die die befragten Lehrkräfte alle positiv beschrieben:

„Am meisten Spaß hat mir der Umgang mit den Schülern gemacht. Auch so die Suche nach Themen, die Diskussion mit den Schülern, was könnte man da als eine Fragestellung, welche Fragestellung [...] Eigentlich mehr im Einzelgespräch. Auch so bei den Recherchen. Wenn die dann gekommen sind und Fragen gestellt haben und so weiter. [...] Auch jetzt dann, der mit seiner Stevia zum Beispiel. Der ist öfters gekommen. Auch wie er da jetzt weiter vorgehen soll und so“ (LF2-W2; Zeile 507-509).

Wie man sieht, ist dies die Stelle, an der im W-Seminar schließlich das Erreichen einer fachlichen Tiefe möglich wird: in der individuellen Forschungsarbeit. Damit wird aber auch klar, dass die fachliche Expertise der Lehrkraft leicht an ihre Grenzen stoßen kann, wenn sehr spezielle Inhalte oder Methoden betroffen sind. Die Möglichkeit, sich bei **externen Experten** dann Beratung zu Literatur oder Hilfestellung mit Methoden oder Material zu holen, ist für eine erfolgreiche und in fachliche Tiefen gehende Seminararbeit essentiell, wobei das den Lehrkräften nach eigenen Überzeugungen keine Probleme bereitet:

„Also, es gibt so viele Optionen und wenn ich jetzt so das Gefühl habe, okay, wir müssen in Frankfurt im Lehrstuhl etwas anfragen, dann frage ich in Frankfurt etwas an. Und, wie gesagt, meine Erfahrung ist (...) wenn man sucht, findet man jemanden, bzw. muss ich halt dann das Thema adaptieren. Also, ich kann nicht am Schluss sagen, ich brauche das und das und das. Ja, ich brauche hier ein supertolles Gerät mit Heliumkühlung und sonst etwas, weil das nicht realistisch ist. Sondern im muss im Prozess sagen, okay, wir haben da ein Problem, wir haben eine Fragestellung, es gibt die und die Optionen, wir fragen jetzt einfach mal an“ (LF1-P4; Zeile 168).

Durch das beschriebene geringere Vorwissen der Schüler im Vergleich zum Leistungskurs sind solche Fälle, bei denen auch die Lehrkräfte an ihre fachlichen Grenzen stoßen, nach Beschreibung der Befragten eher selten. Viel häufiger liegt der Schwerpunkt bei den Seminararbeiten auch im Fach Chemie an anderer Stelle:

„Also eigentlich ist mir bei so einer Arbeit der eigenständige Weg wichtiger. Deswegen habe ich ja auch solche Arbeiten zugelassen, wo sie, wo ich sage, Waffelbacken. Wo ist da der wissenschaftliche Hintergrund wirklich? Da wäre es mir eigentlich wichtig gewesen, dass sie selbstständig so Ideen entwickeln, wie kann ich das machen und so weiter. Insofern sage ich da eindeutig, der eigenständige Weg ist mir wichtiger als dann irgendwie eine supertolle wissenschaftliche Arbeit zu haben“ (LF2-W2; Zeile 286).

Die eigentliche Wissenschaftspropädeutik im W-Seminar liegt also nicht darin, die Schüler zu einer fachlich möglichst tiefgehenden Fragestellung zu bringen, sondern sie bei einem tatsächlichen naturwissenschaftlichen Arbeiten anzuleiten. Dieses wissenschaftliche Arbeiten beinhaltet in den aller meisten der untersuchten Fälle das Experimentieren im Labor. Nur einzelne Arbeiten erhoben empirische Daten oder nutzten geisteswissenschaftliche Methoden. Damit steht die Lehrkraft vor der Aufgabe, bis zu sechzehn verschiedene **Experimente** zu ermöglichen und für die Sicherheit der Durchführung zu sorgen. Dies erweist sich als eine große didaktische und organisatorische Herausforderung!

„Die große Problematik vom W-Seminar ist immer der Platz [...] die Laborarbeit praktisch. Und jetzt haben wir eigentlich schon gute Rahmenbedingungen, weil wir ja einen extra Raum haben. Aber trotzdem ist es natürlich so, dass man keine vier oder fünf Schüler, die parallel arbeiten, beaufsichtigen kann. Und ich habe dann immer zwei, maximal drei bestellt gehabt, die was gemacht haben und damit ist man schon ziemlich gefordert. [...] Wenn man denen die Sachen bringen muss. Auch Chemikalien bringen muss, dann noch mal erklären muss, wie das funktioniert. Wie man das aufbaut. Soxleth-Apparatur und so weiter. [...] Wobei das andere Problem natürlich quasi ist, die sind ja gar nicht gekommen. In dem Moment wo ich ihnen gesagt habe [...] Okay, sucht euch jetzt selber Termine raus, wann ihr kommt, war es einfach so, dass keiner gekommen ist“ (LF2-W2; Zeile 31-39).

„Wie organisiere ich das wirklich, dass jeder Schüler, dass ich sicher bin, dass jeder Schüler in das Labor geht und nicht nur, nicht einfach auftaucht und sagt: »Jetzt bin ich halt mal im Labor, schauen wir mal, was wir machen! Ich habe meine Sachen nicht dabei, ich weiß eigentlich überhaupt nicht, was ich machen muss!«. Sowas hatte ich und drauf habe ich dann eben reagiert und habe gesagt: »So okay, und bevor ihr in das Labor geht, müsst ihr mir Rede und Antwort stehen: Was mache ich im Labor? Welche Versuche will ich durchführen? Was will ich mit den Versuchen erreichen?« Und dann hat man ja im Grunde genommen schon auch eine Fragestellung mit drinnen. Weil die müssen sich ja schon überlegen: »Was will ich denn mit diesen Versuchen überhaupt machen?«“ (LF2-W1; Zeile 367-371).

Durch stringente Organisation und klare Vorgaben in Bezug auf die zu erbringende Vorbereitung konnten die Lehrkräfte also das Arbeiten im Labor organisieren und sicherstellen, dass die Schüler wussten, was sie zu tun hatten bzw. was sie tun durften. Auf diese Weise konnte die Lehrkraft relevante **Sicherheitsaspekte** kontrollieren – womit auch deutlich wird, dass im Gegensatz zu anderen Fächern die Übergabe der

Verantwortung an die Schüler im Chemie-W-Seminar eine klare Grenze hat: Sie endet nämlich dort, wo bei chemischen Experimenten die körperliche Unversehrtheit der Schüler sichergestellt werden muss. Viele Lehrkräfte gingen deshalb dazu über, die Laborarbeit in Kleingruppen zu fest verabredeten Terminen durchzuführen, sodass nur eine begrenzte Anzahl von Schülern gleichzeitig im Labor zu betreuen waren. Für die anderen Schüler fielen in dieser Zeit keine W-Seminartermine an. Auch das Auslagern des Experimentellen durch eine entsprechende Wahl der Seminararbeits-Themen ist eine Möglichkeit, um das logistische Problem Laborarbeit zu reduzieren. Allerdings geht diese Variante mit eigenen Problemen einher:

„Und einige bzw. eine hat das letzte Mal - die hat dann, die wollte Gummibärchen herstellen - und hat das daheim gemacht. War für mich natürlich eine Entlastung, weil die das daheim gemacht hat. Letzten Endes könnte ich natürlich aber nicht wirklich nachkontrollieren: hat die das jetzt wirklich gemacht oder sind die Bilder eigentlich nur, die sie mir geschickt hat - eigentlich nur irgendwo aus dem Internet. Weil da sind natürlich auch zahllose [...] Gummibärchenbilder und wie man sie macht und sonst was. Also das war dann so ein bisschen schwierig“ (LF1-W2; Zeilen 149-151).

Wenn die Verantwortung für das Experimentieren aus Sicherheitsgründen nur bedingt in Schülerhand übergeben werden kann und weitere Tätigkeiten in dieser Seminarphase außerhalb des Labors und der Schule stattfinden, dann ergibt sich ein von den Lehrkräften wiederholt formulierter **Konflikt zwischen Freiheit gewähren und Leistung einfordern**:

„Aber das, das hat mir halt auch gezeigt, dass man eigentlich sehr wenig Mittel hat, zu gucken: machen die wirklich was. Also, die können immer wieder eine, eine Gliederung hinlegen - ich habe jetzt auch die Gliederung gesehen, die die XY bekommen hat. Da stehen einem die Haare zu Berge. Da bestellt man die rein, und sagt: »Das ist so nichts!« Da sagen sie: »Ja« und gehen wieder heim und machen aber trotzdem nichts“ (LF1-W2; Zeile 171).

Einige der Befragten haben daher für sich Kriterien für eine Leistungserhebung während des praktischen Teils entwickelt:

„Auf diesen praktischen Teil werde ich auch eine Note geben: Wie sind sie organisiert? Wie sind sie vorbereitet? Wie sauber arbeiten die? Halten die die Sicherheitsbestimmungen ein? Sind die Gefährdungsbeurteilungen ordentlich gemacht? [...] Bei Vier ist es einfacher. Letztes Mal war es katastrophal. Dann sehe ich ja, nicht wahr, Schutzbrille immer auf, Gedanken über die Entsorgung gemacht, ordentlich entsorgt, Arbeitsplatz war sauber. (...) Ordentlich, also, mit den Chemikalien in normalen Mengen umgegangen. Also so, solche Kriterien halt dann.“ (LF1-W1; Zeile 149-151).

„Weil da war ja dieses Labortagebuch, ist damit eingegangen. Ich habe also dann zwei Noten vergeben. Für das Tagebuch und für die Arbeit, die ich gesehen habe. Ich muss ja denen dafür irgendwelche Punkte geben. Und das war halt, da war ich dann

schon zum Teil rigoros. Dass sie dann wirklich schon [...] über die fünf Punkte nicht rausgekommen“ (LF2-W2; Zeilen 150-157).

Das im zweiten Abschnitt des W-Seminars während der individuellen Arbeitsphasen notwendige Einfordern der Leistung von den Schülern thematisieren die Lehrkräfte – analog zu den Befunden von Gröger (2002) – sehr häufig und beschreiben ihre persönliche Haltung im Umgang mit deren **fehlendem Engagement**

„Aber es gibt halt auch Schüler, die diese Beratungsangebote nicht in Anspruch nehmen. Die kommen halt mit (...) also quasi unvorbereitet, ja. Und denen kann man letztlich nicht helfen. (...) Weil wenn jemand in ein Gespräch kommt, aber keinerlei Überlegungen dabei hat, kein, sich in seinem Gebiet auch nicht mal grob orientiert hat, sondern sich nur so hinsetzt, wie im Unterricht: »Sagen sie mir doch mal, wie ich das jetzt machen soll!«, dann kann ich dem letztlich auch nicht weiterhelfen, weil das - also, dann würde ich ja die Arbeit schreiben, nicht er“ (LF2-W4; Zeile 105-107).

Die individuell zu verfassende Arbeit bringt es also mit sich, dass die Lehrkräfte gezwungener Maßen die Schüler loslassen müssen. Sie können Beratungsangebote machen und Zwischenleistungen einfordern, die Konsequenz für deren Nicht-Erbringen erhalten die Schüler aber erst mit großem zeitlichen Abstand (aber spürbarem Gewicht) durch die Endnote der von ihnen verfassten Arbeit. Viele der Befragten versuchen daher, im letzten Halbjahr über **Zwischenpräsentationen** einen weiteren Kontrollpunkt einzuführen. Spätestens an dieser Stelle erhalten die Schüler dann eine Rückmeldung auf ihre bisher geleistete Arbeit, was schließlich zu einer extrinsischen Motivation angesichts des unausweichlich näher rückenden Abgabetermins führt. Wünschenswert wäre aber, und so formulieren es alle befragten Lehrkräfte, dass die Schüler intrinsisch motiviert und damit ein Stück weit aus eigenem Antrieb und Interesse durch das W-Seminar gehen. Woher kann diese **intrinsische Motivation** kommen? Die Beschreibung einer Lehrkraft gibt hier Aufschluss:

„Und das Andere, was mir aufgefallen ist - und das will ich eigentlich bei diesem Mal besser machen - ich hatte im LK halt auch immer Facharbeiten ausgegeben, wo - ich sage mal - eine Problemstellung gegeben habe. Wo ich wirklich gesagt habe: »Okay das, das ist eine Frage und die versuchst du mal mit dieser Arbeit zu lösen«. Und (...) das war bei den Themen im letzten Jahr auch so. Ich hatte da »Naturstoffe isolieren« und da hat jetzt, zum Beispiel, eine wollte dann Penicillin selber herstellen. [...] Und eigentlich war mein Hintergrund: die soll dann mit dem hergestellten Penicillin auch mal testen, ob das funktioniert. Auf so eine ganz einfache Bakterienkultur und so weiter. Und sie hat es einfach nicht gemacht und nicht geschafft. Weil sie, offensichtlich, nur so als Thema hatte: »Okay, ich isolier' Penicillin, fertig«. Und das will ich also dieses Mal [...] von der Thematik will ich wirklich drauf achten, dass die wirklich auch ein, eine Fragestellung haben. Jetzt nicht nur irgendwas isolieren und nachweisen [...] genau, sondern wirklich ein, ein, ein Problem bearbeiten“ (LF1-W2; Zeile 111-113).

Damit wird deutlich, dass – ebenso wie im P-Seminar – der **Echtheitscharakter** der vom Schüler zu bewältigenden Aufgabe eine für die Motivation ganz entscheidende Rolle spielt: Intrinsisch motiviert kann ein Schüler im W-Seminar nur sein, wenn er tatsächlich das Gefühl hat, etwas Wertvolles erreichen zu können. Die Bearbeitung eines *Themas* bedeutet letztlich eine fleißige Zusammenfassung von Literaturstellen – und ist damit keine naturwissenschaftliche Arbeit! Das Ziel einer Wissenschaftspropädeutik wird damit nicht erreicht! Damit geht auch all das, was Wissenschaft spannend und motivierend macht, verloren, nämlich die Möglichkeit, durch *Herumtüfteln* und *wissen-wollen* letztendlich eigene Antworten zu finden. Soll also im W-Seminar tatsächlich wissenschaftspropädeutisch gearbeitet und ein intrinsisch motiviertes Kennenlernen der NOSI erreicht werden, so muss in den W-Seminar-Arbeiten eine Fragestellung oder Hypothese überprüft und kein Thema bearbeitet werden!

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Lehrkräfte ihre Vorerfahrungen mit Facharbeiten im Leistungskurs revidieren müssen. Ihre Aufgabe besteht primär darin, den Schülern mögliche Themenfelder fachlich nahe zu bringen und sie dann schrittweise zu einer individuellen Fragestellung hinzuführen. Weiterhin muss ein machbarer experimenteller Ansatz gefunden und die Laborarbeit organisiert werden. Eine fachliche Tiefe kann nur im Rahmen der Einzelarbeit und nicht gemeinsam wie im üblichen Unterricht erreicht werden. Die aus den Erfahrungen der Lehrkräfte generierten Erkenntnisse über mögliche methodische Ansätze für die erfolgreiche Konzentrierung eines W-Seminars wurden zu verschiedenen Methodenwerkzeugen umgesetzt (*Modul Forschen lernen, DIMs*) und ein alternatives Ablaufkonzept für W-Seminare entwickelt. Diese Konzepte werden in Kapitel 6 und 7 dieser Arbeit als inhaltliches Fazit aus den Befunden beschrieben.

5.2. Neue Herausforderungen an das Fachwissen der Chemie-Lehrkräfte

Wie aus Tabelle 27 zu entnehmen ist, konnten die Lehrkräfte die Herausforderungen an ihr Fachwissen im Vergleich zu den anderen Aspekten des Professionswissens am seltensten erfolgreich bewältigen. In knapp 15% der Fälle scheiterten sie nach eigenen Aussagen. Dies ist ein zunächst überraschendes Fazit, denn grundsätzlich sollte man davon ausgehen, dass eine Gymnasial-Lehrkraft chemische Fachinhalte aus entsprechender Fachliteratur beziehen kann. Bei einer genaueren Analyse offenbaren sich die relevanten Themenbereiche:

„Also, was manches Mal die Schülerinnen gemacht haben, dass dann eine gesagt hat, sie stellt es auf facebook. Aber nachdem ich ein, einer der Lehrer bin, die von facebook gar nichts halten und nicht in facebook vertreten bin, kann ich mit meinen Schülern auch nicht über facebook **kommunizieren**“ (LF2-W1; Zeile 147).

„Ja, wobei Moodle kenne ich mich noch nicht so gut aus. Habe ich ein bisschen stiefmütterlich gemacht. Und hauptsächlich ist das über diese Protokolle gelaufen. Ist aber, glaube ich, wenn man etwas Experimentelles macht, eine bessere Methode“ (LF1u2-P8; Zeile 295-296).

„Also ich, ich bezeichne jetzt mal meine Vorgehensweise als einfach Learning per Doing. Und im Nachhinein sage ich: "Ja, ich müsste mir jetzt **Projektmanagement** stärker aneignen." Das heißt, ich müsste mir Termine setzen. Bis zu dem Zeitpunkt, wo bis zu dem Zeitpunkt bestimmte Dinge eben stehen müssen. [...] Also das Projektmanagement in dem Sinn, dass man eben einen Ablaufplan zum Beispiel hat“ (LF1u2-P2; Zeile 60-63).

„Also die Qualifikation der Lehrkräfte ist auch ein, ein Ding, dass sozusagen im im Argen liegt, weil alle dürfen P-Seminare anbieten, aber die die Qualifikation aller ist nicht unbedingt erfolgt. Also gerade in diesem **Berufs- und Studienorientierungsteil**, was ja mit dem Fach überhaupt nichts zu tun hat“ (LF1-P4; Zeile 252).

„Und dann habe ich mir mal den BUS-Ordner durchgeguckt und habe mich halt mal mit Kollegen unterhalten, die es schon machen. Und ansonsten gehe ich da ziemlich blauäugig ran.“ (LF1-P1; Zeile 47).

„Nein, Fragestellungen waren es nicht, sondern Arbeitsthemen [...] die teilweise sehr weit gefasst waren, wo du dann präzisieren musstest, in die Gegend: "Was interessiert mich?" Wo du dir die einzelnen Aspekte raussuchen musstest. Aber **Fragestellungen** waren es nicht, wäre vielleicht auch teilweise gescheiter gewesen, habe ich auch schon gemerkt. [...] Also, in Ausnahmefällen gab es eine **Hypothese**, wie beispielsweise bei dem einen Thema um die Desinfektionsmittel [...] Die Fragestellung, ob die gleich gut wirken“ (LF2-W3; Zeile 292-296).

Mit den Original-Zitaten der Lehrkräfte wird deutlich, dass es bei nicht bewältigten Herausforderungen an das Fachwissen der Lehrkräfte nur in den seltensten Fällen um fachspezifisches Chemielehrer-Wissen selbst ging! In vielen Fällen sprachen die Lehrkräfte von Problemen bei der Kommunikation mit den Schülern über digitale Wege. Diese ist heute für viele Gymnasial-Lehrkräfte durchaus üblich, womit dies kein für Seminare spezifisches Wissen ist. Allerdings gewinnt es mit dem Umstand an Bedeutung, dass durch die Freiheit der zeitlichen Umsetzung der Seminarfächer die Lehrkräfte regelmäßig mit den Schülern nur über digitale Wege kommunizieren können. Der Umstand, dass die Schüler sich am häufigsten über facebook®

austauschten, diese digitale Plattform aus Datenschutzgründen für die Kommunikation mit Lehrkräften aber nicht zugelassen ist, wirft innerhalb der Seminare immer wieder Probleme auf. Die Lehrkräfte berichten regelmäßig davon, dass die **digitale Kommunikation** mit den Schülern über e-Mail problematisch ist, weil sie von Seiten der Schüler nicht zuverlässig gepflegt wird. Die Lehrkräfte mussten also letztlich andere zufriedenstellende Wege der Kommunikation innerhalb des Seminars finden, zum Beispiel, indem sie Mebis⁴⁸ nutzten oder – entgegen der Bestimmungen – doch einen eigenen facebook®-Account einrichteten.

Die weiteren aus den Zitaten deutlich werdenden Herausforderungen an das Fachwissen der Lehrkräfte sollen im Folgenden unterschieden nach P- und W-Seminar diskutiert werden:

5.2.1. CK im P-Seminar

Mit Einführung der P-Seminare wurden, wie in Kapitel 3.4 beschrieben, damit nur ein neues Unterrichtsformat ins bayerische Gymnasium eingeführt, sondern auch neue, bisher nicht enthaltene Inhalte integriert. Mit Einführung des G8 in 2010 hatten die Lehrkräfte diese Fächer zu unterrichten. Zur Einführung wurde die Broschüre des ISB 2007 veröffentlicht, womit die Vorgaben des Ministeriums für die Seminarfächer im Prinzip bekannt waren und die Vorbereitung der Lehrkräfte – auch im Hinblick auf eventuell benötigtes Fachwissen – beginnen konnte. Hierzu äußert eine Lehrkraft:

Interviewer: *Nein, aber auch was jetzt überhaupt ein P-Seminar ist, zum Beispiel. Haben sie da eine Fortbildung gemacht?*

Lehrer: *Nein, gar nichts. Kriegen nur so Multiplikatoren. Wir haben uns angemeldet, sind aber abgelehnt worden.*

Interviewer: *Und hatten sie Multiplikatoren, die ihnen das erzählt haben?*

Lehrer: *Nein.*

Interviewer: *Okay, woher wissen sie es dann? (lacht)*

Lehrer: *Ehrlich gesagt so Flyer vom Kultusministerium.*

(LF1-P1; Zeile 40-45)

In diesen *Veröffentlichungen* (Flyern) gibt das ISB als übergeordnete Ziele des P-Seminars den Erwerb von Berufswahl- und Berufsweltkompetenzen an. Erstere sollen im Rahmen einer Berufswahl- und Studienwahlberatung (BuS) erworben werden, letztere im Rahmen des durchzuführenden Projektes:

⁴⁸ Kommunikations-Plattform des Landesmedienzentrum Bayern

Projektmanagement und Mentoring

Im Zusammenhang mit Berufsweltkompetenzen spricht das ISB von *Projektmethode* und *Projektarbeit*. Wie in Kapitel 3.4 beschrieben ist die Projektmethode ein nicht alltägliches, aber doch etabliertes Unterrichtsverfahren, dessen Beherrschung jede Gymnasiallehrkraft mit etwas Vorlauf und Übung leisten können sollte. Allerdings beschreibt das ISB die Aufgabe der Lehrkraft bei dieser Projektarbeit wie folgt: „Bei der Projektarbeit wirkt die Lehrkraft als Fach- und Methodenexperte, Impulsgeber, Coach, Moderator und Mediator“. Die Broschüre listet außerdem weitere professionelle Aufgaben der Lehrkraft auf (ISB, 2007, S. 51):

- „Begleitung und Beratung bei der Studien- und Berufsorientierung
- Hinterfragen von unreflektierten Entscheidungen initiieren
- Beobachtung und Rückmeldung bzgl. der personalen Kompetenzen
- Bewertung der Leistungen“

Hiermit wird deutlich, dass im P-Seminar keine Projektarbeit im üblichen pädagogischen Sinn durchgeführt werden soll. Passender ist der Begriff *Projektmanagement* und in Bezug auf die personalen Kompetenzen ein *Mentoring* oder *Coaching*. Projektmanagement setzt die Kenntnis einer Vielfalt von Verfahren und Methoden voraus, für die es im beruflichen Umfeld gesonderte Zertifikate gibt, deren Erwerb drei bis fünf Jahre dauern kann. Projektmanagement ist also keine Fertigkeit, die man im Zuge des Familien- oder Berufslebens automatisch erwirbt. Der Lehrer „ist (im P-Seminar) der Fachexperte in Bezug auf Projektmanagement und hat dies im Normalfall nie gelernt“ (W. Habelitz-Tkotz & Hörnig, 2011). Diesbezügliche Bedenken der Lehrkräfte spiegeln sich auch in den Aussagen der vom ISB befragten Direktoren die angeben, dass wegen der Unsicherheiten beim Thema *Projektmanagement* die Hälfte des Kollegiums nicht bereit sei, ein P-Seminar zu übernehmen (Vogt & Gottfried, 2011). Den Lehrkräften fehlt also grundlegendes Fachwissen, aber auch Methodenkompetenz in Bezug auf das Projektmanagement. Methoden, die man als Mediator oder als *Impulsgeber* für persönliche Entscheidungen der Schüler beherrschen muss, werden im Chemieunterricht eher selten benötigt und sind bisher auch kein Bestandteil der Ausbildung von Chemielehrern. Die Kenntnis und Beherrschung von Mediations-, Coaching- und Moderationsmethoden wie z. B. Trennung von Sachfragen und Interessen, Rollenbestimmung und -findung, Konflikteskalation, Finden einer Win-win-Situation, Teamführungsstrategien oder Coaching-Strategien wie Ressourcen-Orientierung, Solution Line, Phantasiereisen etc. können also nicht vorausgesetzt werden. Sie gehören eindeutig nicht zum pädagogischen Methoden-Repertoire eines Chemielehrers oder allgemein eines Gymnasiallehrers. Bei fehlendem entsprechendem Fachwissen und fehlender methodischer Kompetenz kann eine entsprechende didaktische Umsetzung von Projektmanagement im P-Seminar realistisch nicht geleistet werden.

Wie im P-Seminar die Verschiebung der inhaltlichen Schwerpunkte weg von den fachdidaktischen Kernprofessionen hin zu allgemeinen pädagogisch-psychologischen

und schließlich hin zu letztlich soziologischen Schwerpunkten erfolgen soll, zeigt die folgende Vorgabe des ISB:

„Über die genannten planerischen Aufgaben hinaus sollte die Projektleitung idealerweise für ein innovatives Klima sorgen; wissen, wie man mit Spannungen und Konflikten umgeht, und über entsprechende Kommunikationsfähigkeiten verfügen; Strukturen und Regeln festsetzen, um Unsicherheiten zu vermeiden; verschiedene Personen zusammenführen, damit daraus ein funktionsfähiges Team entstehen kann; das richtige Verhältnis zwischen Struktur und Offenheit finden; den Teammitgliedern mit Offenheit und Vertrauen begegnen und diese in kritischen Phasen unterstützen; fortlaufend überprüfen, ob die Zielvorgaben erreicht werden.“

Die Autoren relativieren und konkretisieren ihre Forderungen im Anschluss wie folgt: *„In dieser Aufzählung sind Idealvorstellungen benannt, die auch von professionellen Führungskräften nicht immer vollständig erfüllt werden. Es darf daher nicht erwartet werden, dass Schülerinnen und Schüler diese in vollem Umfang erbringen können“* (2007, S. 47). Damit wird – bei offensichtlichem Bewusstsein für die Höhe des Anspruchs – deutlich, dass die genannten professionellen Leistungen von den Schülern erbracht werden sollen – und damit von der Lehrkraft organisiert und in einem Maße beherrscht werden müssen, die eine Vermittlung an die Schüler ermöglicht. Diese Erwartungen sind von einer Chemielehrkraft nicht aus ihrer klassischen fachdidaktischen Profession heraus zu erfüllen. Dass auch pädagogisch-psychologisches „Wissen über Klassenprozesse“ oder „Wissen darüber, wie Schülerinnen und Schüler lernen“ oder „Wissen über individuelle Unterschiede und Besonderheiten“ (Voss und Kunter in Kunter et al., 2011, S. 195) oder über die Projektmethode nur bedingt dabei helfen, Wege hierfür zu finden, zeigen die Befunde dieser Studie:

„Da muss ich mich selber erst noch mal einlesen. [...] Ich habe es vom [...] Studium her haben wir es mal ein bisschen gehört. Wie läuft, wie so ein Projekt normalerweise abläuft. Es gibt ja auch so diese projektorientierten Unterricht. Wo man das auch so so anbahnen möchte. Da muss ich mir jetzt noch mal ein bisschen mit auseinandersetzen. Möchte auch mich damit auseinandersetzen. Und dann auch mit den Schülern das mal die Theorie vorstellen. Und dann auch mal sagen, wie wie kann man es jetzt in die Praxis umsetzen? Also da möchte ich jetzt, wie gesagt, schon mehr da drauf Wert legen. Mal schauen, ob es funktioniert“ (LF1u2-P7; Zeilen 448-449).

Damit wird deutlich, dass einige Lehrkräfte Projektmanagement zunächst gar nicht als für die P-Seminare vorgeschriebenen Inhalt wahrnehmen! In der vorliegenden Studie gaben vier von sieben befragten P-Seminar-Lehrkräften an, dass das Thema Projektmanagement für ihr P-Seminar nicht vorgesehen ist. Die Ursache hierfür wird in den Äußerungen der Befragten deutlich:

„Also vorbereitet gefühlt? Ich wurde überhaupt nicht vorbereitet von offizieller Seite irgendwie. Sondern ich habe mir Bücher gekauft, ich habe die Fortbildung besucht. (...) Genau. und habe die, habe die Bücher aufgearbeitet. Und habe mir halt Folie, habe mir eine PowerPoint erstellt und das versucht selber (...) zu durchdenken. Und

war halt dann den Schülern am Anfang, logischerweise, halt immer so die gerade, diese eine Stunde irgendwie voraus. Merkst du halt einfach, dass du, dass du da selber kein / Ich fühle mich auch jetzt noch nicht so, dass ich, dass ich sage, klar, ich bin jetzt, weiß jetzt, wie ein Projekt läuft und ich kenne mich aus so. [...] Und habe mir dann selber noch das ein oder andere noch Buch gekauft. Weil man muss ja ehrlicher Weise sagen, ich habe ja überhaupt keine Ahnung, wie so eine Projekt tatsächlich abläuft. Also ich habe mich halt eingelesen natürlich. Dass man dann eben einen Projektstrukturplan macht und einen Zeitplan und diese Milestones, die man da irgendwie setzt und so“ (LF1-P5; Zeile 35 sowie 91-97).

Die Lehrkräfte sind also mit der Umsetzung der Vorgaben des Ministeriums weitgehend allein gelassen und müssen sich das Fachwissen, das sie den Schülern beibringen sollen, selbst aneignen – und für dieses neu gewonnene Fachwissen dann eine mögliche Didaktisierung konzipieren. Einige der befragten Lehrkräfte hatten die Funktion eines Mediators inne und in diesem Rahmen eine Fortbildung durch das Ministerium erfahren mit der Aufgabe, in schulinternen Lehrer-Fortbildungen (SchiLF) ihr Wissen an die Kollegen weiter zu geben. Solche einzelnen SchiLF-Fortbildungen sind jedoch nicht hinreichend. Wie oben beschrieben gehört zum Projektmanagement ein großer Umfang an Methoden, der sich durch singuläre Vorträge vor dem Kollegium unmöglich vermitteln lässt. Entsprechend äußern sich die Lehrkräfte:

„Das ist ein Manko. Muss man ganz klar sagen. [...] man hat da jemand, der quasi eine Vorlesung hält. Wäre es da geschickt, wenn man wirklich sagt, man hat irgendwie Anknüpfungspunkte zu jemanden, der so was in der Industrie oder irgendwo auch mal so professionell macht. Weil ansonsten ist das wieder ein theoretisches Gerede. Und ich bin zielorientiert. Ich sage immer dann: »Ja, in einem Buch nachlesen kann ich es auch. Aber ich brauche jemand, der sagt, so und so macht man das in der Praxis«. Also man setzt die Meilensteine, plus so viel Prozent Puffer. Man macht dieses und jenes. [...] Wie delegiert man?“ (LF1u2-P7; Zeile 454-457).

Entsprechend fatalistisch sind auch die Äußerungen mancher Befragter über ihr Herangehen an die P-Seminare:

„Das Schöne ist ja auch, am Anfang kannst du nichts falsch machen. Das ist ja das Schöne. Die sind ja froh, wenn du überhaupt irgendwas anbietest. Und wenn jetzt, und wenn jetzt was noch nicht gut läuft, dann wird das unter Erfahrung abgehakt“ (LF1-P5; Zeile 15).

„Das natürlich schon so ein bisschen peinlich, an sich, dass Lehrer da was vermitteln sollen, wo jeder aus der freien Wirtschaft sagt: »Der hat selber noch nie, noch nie ein halbwegs passables Projekt selber mal mitgestaltet und soll den Schüler jetzt beibringen, wie es geht«. Also das ist natürlich schon – puh - schon ein bisschen, so ein bisschen sehr schwierig. und da wäre vielleicht, naja, müsste man gucken, ob man da nicht doch externe Leute für so was nimmt, aber ist natürlich sehr aufwändig. Aber / An sich sind Lehrer natürlich die falschen Leute, um das umzusetzen, weil die

einfach keine Erfahrung haben. [...] Ich habe mich halt selber möglichst intensiv vorbereitet“ (LF1-P5; Zeile 85-89).

Sind Lehrkräfte „die falschen Leute“ für das Thematisieren von Projektmanagement im P-Seminar? Wie bereits dargestellt (Kap 5.1.1) ist Projektmanagement nicht nur als Inhalt sondern auch als Struktur des P-Seminars unabdingbar. Außerdem verfügen Lehrkräfte durchaus über pädagogisch-psychologische und fachdidaktische Expertise, die als Vorwissen für das Thema Projektmanagement und vor allem seine didaktische Aufbereitung für Schüler dienen kann. Das belegen Positivbeispiele innerhalb dieser Studie, bei denen einzelne Befragte durch umfangreiche Fortbildungen im Vorfeld der P-Seminare entsprechende Expertise erwerben konnten und sie dann nachweislich sehr erfolgreich umsetzten. Für ein erfolgreiches P-Seminar ist die Kenntnis grundlegender Inhalte und Methoden von Projektmanagement hinreichend und eine schulspezifische Auswahl sogar wünschenswert. Eine Fortbildung der Lehrkräfte in Bezug auf Projektmanagement und das Ermöglichen des Einübens einer für die Schule passenden Auswahl an Methoden ist für den Erfolg von P-Seminaren deshalb unabdingbar und muss im Rahmen gezielter Lehrerfortbildungen für alle Gymnasiallehrer ermöglicht werden.

Berufs- und Studienberatung

Im Gegensatz zum Projektteil wird der Berufswahl- und Studienwahl-Teil (BuS-Teil) der P-Seminare an vielen Schulen nicht von den Lehrkräften selbst durchgeführt. In der vorliegenden Studie wurde an vier Schulen die BuS-Phase für alle P-Seminare zentral organisiert, indem **externe Spezialisten** eingeladen wurden. Die betroffenen Lehrkräfte begrüßten dies durchgehend (z. B. LF1u2-P2; Zeile 40-41). An drei Schulen hatten die Lehrkräfte auch den BuS-Teil selbst zu bewältigen, was sie einerseits als vorteilhaft beschrieben, weil sie dadurch zeitlich freier gestalten konnten, wann am Projekt gearbeitet und wann die Zeit für BuS verwendet wurde. In Bezug auf die inhaltliche Umsetzung kannten und nutzten alle Befragten zu einem gewissen Teil den BuS-Ordner des Ministeriums. Abgesehen davon sahen sie sich in Bezug auf die Inhalte aber eher als Laien an:

„ich war dreizehn Jahre Schüler. Danach habe ich ein Jahr Zivildienst gemacht, dann bin ich zur Uni gegangen, habe studiert. Währenddessen diverse Ferienjobs gemacht. [...] Nach dem Studium bin ich in das Referendariat gegangen und jetzt bin ich Lehrer. Wer wäre wohl ungeeigneter, um den Schülern etwas über die Berufswirklichkeit zu erzählen, als ich? [...] Ich habe niemals ein Bewerbungsgespräch gemacht, ich habe niemals eine Bewerbungsmappe gemacht. Ich habe mich niemals irgendwo vorgestellt, um [...] in einem Betrieb zu arbeiten“ (Pilotstudie: LF1-W7; 4.10.2011).

Hier wird deutlich, dass den Lehrkräften zentrales Fachwissen fehlt, um eine Beratung der Schüler in Bezug auf die Vielfalt der Möglichkeiten durchführen zu können! Demnach sollte die Information in Bezug auf Berufe und Studiengänge grundsätzlich von externen Spezialisten durchgeführt werden. Die Berufs- und Studienwahlberatung besteht aber nicht nur daraus, einen Überblick über die grundsätzlichen Optionen und

Wege zu geben. Über diese Fachinformationen hinaus geht es zudem darum, die Schüler in ihrem persönlichen Weg anzuleiten und dazu zu bringen, ihre **individuellen Stärken und Interessen** zu artikulieren. An dieser Stelle können die Lehrkräfte durchaus eigene Expertise einbringen, wie diese Lehrkraft klarstellt:

„Ich möchte mich da eigentlich gar nicht beklagen. Weil ich glaube, dass wir zwar den Nachteil haben, dass wir uns relativ wenig im Berufsalltag anderer Berufe auskennen, dass wir dafür aber ziemlich oder viele Schüler relativ gut kennen. Der Berufsberater kennt vielleicht die Berufswelt besser, aber wir kennen die Schüler besser. Und insofern, man geht ja auch so mit offenen Augen durchs Leben. Und kann so, was man aus dem Bekanntenkreis hört oder liest eben auch mit einbringen. Und glaube ich auch zum Vorteil mit einbringen. Weil man eben die Schüler oft schon über Jahre kennt. Und insofern halt ich das gar nicht für so ein schlechtes System, weil sie haben genügend Möglichkeiten extern Informationen einzuholen“ (LF1u2-P2; Zeile 47).

Die Lehrkräfte können aufgrund ihrer direkten Beziehung zu den Schülern also den persönlichen Teil der BuS-Beratung übernehmen. Aber auch hier ist zu hinterfragen, ob dieser Aspekt allein zielführend ist:

„Aber am Anfang habe ich mir sehr schwer mit dem BuS-Teil getan. Und kam mir da auch so ein bisschen hilflos vor. Weil auf der einen Seite die Schüler nicht in einen Beruf reindrängen will. Weil die Schüler von einem erwarten, dass man eine komplette Berufsberatung macht. Und ich das als Nichtwirtschaftslehrer überhaupt nicht leisten kann. Und manche Schüler sind so [...] sind einfach so unschlüssig und wollen sich am liebsten noch überhaupt nicht mit dem BuS-Teil beschäftigen. Und dass man die so richtig anschubsen muss und wie man die dann in die richtige Richtung schubst. Das finde ich ein bisschen schwierig. [...] Und ja, da denke ich mir immer, das ist schade, dass ich sie jetzt nicht irgendwie da in eine Richtung bringen konnte. Auf der anderen Seite wäre es ja auch fatal, wenn ich sie in eine falsche Richtung drücken würde“ (LF1u2-P8; Zeile 14-16).

Damit wird deutlich, dass zu einer professionellen Berufswahl- und Studienwahl-Beratung eine weitergehende **Beratungs-Expertise** gehört, die auch aus einer pädagogischen Beziehung zu den Schülern und der eigenen Lebenserfahrung allein nicht zu leisten ist. Es geht um die Beratung bei durchaus persönlichen Themen aus dem Leben der Schüler. Diese Beratungssituation mit eher soziologisch-psychologischem Schwerpunkt unterscheidet sich maßgeblich von einem fachlichen Beratungsgespräch. Im alltäglichen Unterrichtsgeschehen ist es einer Chemie-Lehrkraft in der Regel freigestellt, ob sie ein solches, persönliche Belange betreffendes Gespräch sucht, oder nicht. Meist besteht die Notwendigkeit für solche Gespräche mit Schülern oder auch Eltern eher im Rahmen einer Klassenleiterfunktion und ist deshalb weniger typisch für den Chemieunterricht. Im Rahmen der P-Seminare ist sie dagegen verpflichtend.

Hertel et al. (2009) sehen solche Beratungsaufgaben, die eigentlich außerhalb der fachtypischen Expertise von Lehrkräften liegen, sehr kritisch und fordern eine Abgrenzung von Beratungsaufgaben, die nicht in den Aufgabenbereich von Lehrkräften fallen. „Beratung durch Lehrkräfte ohne spezifische Beratungslehrer-ausbildung sollte sich auf unterrichtliche und erzieherische Beratungsanlässe beschränken (z. B. Schullaufbahnberatung, Lernberatung)“ (ebd. , S. 720). Trotz der zur Verfügung stehenden BuS-Ordner wird damit deutlich, dass angesichts der Dimension der zu leistenden auch die individuelle Beratung zur Berufs- und Studienwahl von externen Spezialisten kommen und nicht von der Lehrkraft durchgeführt werden sollte!

Schlussfolgerungen

Damit lässt sich die Frage formulieren, ob die Berufs- und Studienwahl-Beratung überhaupt im Rahmen des P-Seminars erfolgen sollte. Denkbar wäre auch, eine Verteilung über mehrere Jahrgangsstufen und zum Beispiel eine erste BuS-Phase mit dem Schwerpunkt auf der individuellen Identifikation von Stärken und Interessen in der neunten Jahrgangsstufe im Zusammenhang mit einem Betriebspraktikum verpflichtend zu verorten. Das würde auch mit Befunden von Low et al. (2005, zitiert nach Päßler, 2011) korrelieren, nach denen das berufliche Interesse schon im Alter von 12 bis 13 Jahren relativ stabil ist. Im Rahmen des P-Seminars könnte dann die Information über Studien- und Berufszugänge erfolgen, wenn die Schüler mit Perspektive auf ihren Schulabschluss die tatsächliche Notwendigkeit dieser Information vor Augen haben. Sinnvoll wäre dies aber nur, wenn Wege zur expliziten Verknüpfung zwischen Projekt- und BuS-Teil gefunden werden. Die freiwerdende Zeit kann für das Projekt und eine verpflichtende gemeinsame **Exkursion** des Seminars genutzt werden. Weiterhin könnte in diesem Zusammenhang eine flexiblere Nutzung der bisher ausschließlich für externe Referenten vorgesehenen **finanziellen Mittel** eingeführt werden – ein Wunsch, der von vielen der hier befragten Lehrkräfte geäußert wurde⁴⁹.

5.2.2. CK im W-Seminar

Wie dargestellt sind Thema und Fachinhalte des jeweiligen Seminars jedem Chemielehrer freigestellt. Als Einschränkung gilt jedoch die Richtlinie, dass die Seminare keine Inhalte des Oberstufenlehrplans behandeln sollen. Damit ist von der Lehrkraft zwingend Fachwissen gefordert, das ihr bisheriger Unterricht nicht enthielt. Da Gymnasial-Lehrkräfte in ihrer Ausbildung eine Zulassungsarbeit an der Universität verfassen müssen, haben sie im weiteren Sinne wissenschaftlich gearbeitet. Auch mögliche Fachliteratur, die Formalien einer naturwissenschaftlichen Arbeit sowie die Regeln der Literaturrecherche und des Zitierens sollten Chemie-Lehrkräften daher

⁴⁹ Seit 2013 ist diese Regelung etwas gelockert worden und ermöglicht nun die Genehmigung einer teilweisen Verwendung der Mittel für Fahrtkosten (KMS VI.1-5 vom 30.9.2013).

geläufig sein. Übliche Verfahren der Chemie zur Beantwortung von Forschungsfragen stammen aus den Bereichen Synthese oder Analytik – beides Themenbereiche, die im Lehrplan nur an wenigen Stellen gestreift werden. Die im Rahmen des Studiums zu absolvierenden Praktika sehen zwar Synthesen und Analysen vor, darüber hinaus muss man aber davon ausgehen, dass die Lehrkräfte über wenig praktische Erfahrung verfügen. Außerdem stehen die oft komplexen und teuren Geräte für diese Verfahren in der Schule normalerweise nicht zur Verfügung. Somit sind Chemielehrer speziell in Bezug auf die Analytik gezwungen, neues Fachwissen zu erwerben und externe Beratung in Anspruch zu nehmen, wenn sie ihre Schüler im W-Seminar sachgerecht in ihrem Forschungsvorhaben anleiten wollen. Letztendlich ist also davon auszugehen, dass die Lehrkräfte über ein grundsätzliches Fachwissen über *Nature of Science Inquiry* (NOSI) zur Begleitung der Seminararbeiten verfügen, bzw. es sich aneignen können. Analog äußerten sich die befragten Lehrkräfte in der Online-Befragung des ISB und gaben an, sich in Bezug auf die fachlichen Inhalte der W-Seminare „hoch qualifiziert“ zu fühlen (Vogt & Gottfried, 2011, S. 39). Im Kontrast dazu stehen ihre Äußerungen im Rahmen dieser Studie:

Interviewer: [...] *Haben ihre Schüler in den Arbeiten ein Thema bearbeitet oder haben sie eine Fragestellung beantwortet?*

Lehrer: *Ein Thema eigentlich.*

Interviewer: [...] *Warum haben Sie sich für ein Thema und nicht für eine Fragestellung - oder Arbeitshypothese - entschieden?*

Lehrer: [...] *Weil ich mir darüber noch überhaupt gar keine Gedanken gemacht habe.*

(LF2-W1; Zeile 298-303).

Nur zwei der interviewten Lehrkräfte thematisierten ungefragt, dass die Schüler im Rahmen ihrer individuellen wissenschaftlichen Arbeit eine Fragestellung zu bearbeiten bzw. eine Hypothese zu untersuchen hatten. Die meisten Lehrkräfte antworteten auf Nachfragen wie oben zitiert. Damit wird offensichtlich, dass innerhalb der W-Seminare letztlich kaum wissenschaftlich gearbeitet wurde! Den Lehrkräften fehlte entweder ein „adäquates Verständnis der Natur der Naturwissenschaften“ (Neumann & Kremer, 2013) und im Besonderen Wissen über *Nature of Science Inquiry NOSI* im beschriebenen Sinne (siehe Kap. 3.3) oder – was angesichts ihrer Ausbildung wahrscheinlicher ist – sie setzten es innerhalb der W-Seminare nicht um. Belege hierfür konnten auch durch eine im Rahmen dieses Vorhabens angestrebten Zulassungsarbeit von A. Masuhr gefunden werden, die je 28 Facharbeiten aus Leistungskursen mit Seminararbeiten aus W-Seminaren in Bezug auf verschiedene Kriterien verglich (Tabelle 30). Dabei wurde auch untersucht, inwieweit diese Arbeiten eine Frage bzw. eine Hypothese oder ein Thema bearbeiteten, indem nicht nur der Titel der Arbeit angesehen sondern tatsächlich der Inhalt betrachtet wurde.

Tabelle 30: Vergleich Facharbeiten und Seminararbeiten (Masuhr, 2013)

	Fragestellung oder Hypothese wurde bearbeitet	Thema wurde bearbeitet	nicht ersichtlich
Facharbeiten	21,4%	71,4%	7,2%
Seminararbeiten	22%	78%	-

Es ist ersichtlich, dass in der Stichprobe zwischen Facharbeit im Leistungskurs und Seminararbeit in den W-Seminaren diesbezüglich kein großer Unterschied besteht. Deutlich wird aber auch, dass in jeweils über siebzig Prozent der Fälle die Lehrkräfte die Schüler ein Thema bearbeiten ließen und sie damit streng genommen nicht korrekt zum wissenschaftlichen Arbeiten anleiteten. Damit wird ein wesentliches und nicht zuletzt namengebendes Ziel der W-Seminare nicht erreicht, nämlich eine erfolgreiche Wissenschaftspropädeutik!

Betrachtet man weitere Äußerungen der Lehrkräfte dazu, was sie innerhalb der W-Seminare gefordert hat, so eröffnen sich noch weitere wissenschaftspropädeutische Problemfelder:

„Die Betreuung der Schüler, während sie die Seminararbeit geschrieben haben. [...] Die anderen haben dann nur Literaturarbeit gemacht. Und das hatte ich ja vorher noch gar nicht gemacht. Das heißt, die betreut. Auch irgendwelche Tipps gegeben bei der Gliederung: Wie sollen, können sie was anders machen? Wo könnten sie noch andere Literatur herkriegern? Auch bei den Experimenten, die ja teilweise über Stoff gegangen ist, wo ich mich ja auch nicht ausgekannt habe, und dann da, wenn was nicht funktioniert hat, zu überlegen, wie könntest du es anders machen? Woran könnte es gelegen haben? Das war, glaube ich, das Neueste und Schwierigste erstmal für mich“ (LF1-W3; Zeile 101-103).

Sowohl das Anleiten beim Schreiben einer naturwissenschaftlichen Arbeit als auch das Beschaffen von Fachliteratur sowie letztendlich das weiter-Helfen bei experimentellen Problemen forderte die Chemie-Lehrkräfte in den W-Seminaren. In diesen Bereichen fehlte wie beschrieben zum Teil das entsprechende Fachwissen, oder es gelang letztendlich die entsprechende unterrichtliche Umsetzung nicht.

Schlussfolgerungen

Für eine erfolgreiche Wissenschaftspropädeutik müsste also zu all diesen Bereichen weitergehende Kompetenz von den Lehrkräften im Vorfeld der Durchführung eines W-Seminars erworben werden. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde eine **Lehrerfortbildung** entwickelt und mehrfach durchgeführt, die zentrale hier dargestellte Kompetenzen beinhaltet und die in Kapitel 7 dieser Arbeit vorgestellt wird.

5.3. Inhalte eines Seminarfach-Wissens

Wie dargestellt ergeben sich im Rahmen der W- und P-Seminare im bayerischen Gymnasium für Chemie-Lehrkräfte – aber vergleichbar sicher auch für Gymnasiallehrer anderer Fächer – viele neue Herausforderungen. Deutlich wurde, dass die Lehrkräfte diese Herausforderungen häufig deshalb nicht bewältigen konnten, weil eine für ihre bisherige Profession unspezifische Expertise durch die Seminarfächer von ihnen gefordert war, die sie weder aufgrund ihrer Ausbildung noch aufgrund ihrer Lehrerfahrung leisten können. Abschließend soll nun versucht werden, dieses fachtypische und fachunspezifische Seminarfach-Wissen im Hinblick auf seine Bedeutung und seine Inhalte zusammenfassend darzustellen.

Tabelle 31: Anforderungen und Herausforderungen an fachspezifisches und fachunabhängiges Seminarfach-Wissen

	Anforderung	Herausforderung bewältigt	Herausforderung nicht bewältigt	
Fachspezifität	% der Äußerungen zum Seminarfachwissen (Anz. Codings)			Summe
Fachspezifisches NaWi-Lehrer-Wissen (NaWi-L-)	21,2% (176)	10,1% (83)	3,1% (26)	34,4%
Fachspezifisches Seminarfach-Wissen (NaWi-Sem-)	1,0% (8)	0,8% (7)	0,5% (4)	2,3%
Fachunabhängiges Gymnasial-Lehrer-Wissen (Gym-L-)	32,3% (269)	3,8% (32)	0,7% (6)	36,8%
Fachunabhängiges Seminarfach-Wissen (Gym-Sem-)	9,5% (79)	9,7% (81)	7,3% (61)	26,5%
Summe 100% = 832 Codings	64,0% (532)	24,4% (203)	11,6% (97)	

Wie aus Tabelle 31 deutlich wird, spielte das **fachspezifische Seminarfachwissen** nach Aussagen der Lehrkräfte nur eine untergeordnete Rolle (NaWi-Sem: 2,3% der Äußerungen). In der Mehrzahl der Fälle bewältigten die Lehrkräfte diese Anforderungen, wobei es in der Regel um chemie-spezifische fachliche Fragen ging,

die im normalen Unterricht nicht aufgetreten wären. Ansonsten ist die geringe Häufigkeit der Äußerungen zum fachspezifischen Seminarfachwissen aus oben beschriebenem Befund zu verstehen. Dieser belegt, dass den meisten Lehrkräften ihre Defizite in der Umsetzung von Projektmanagement bzw. NOSI nicht bewusst waren! Dies deckt sich auch mit Erkenntnissen aus der Durchführung der entsprechenden Lehrerfortbildungen (siehe Kap. 7) bei denen selbst teilnehmende Fachleiter und Seminarlehrer äußerten, über die Bedeutung einer Fragestellung (anstelle eines Themas) für eine Seminararbeit bisher nicht nachgedacht zu haben. Zur erfolgreichen Umsetzung einer **Wissenschaftspropädeutik** im W-Seminar ist eine Erweiterung des Professionswissens der Chemie-Lehrkräfte in Bezug auf NOS deshalb wünschenswert. Nur auf der Grundlage dieses Fachwissens über NOSI kann eine erfolgreiche Anleitung zum naturwissenschaftlichen Arbeiten erfolgen. Die gesamten hierfür notwendigen Aspekte der professionellen Kompetenz von Lehrkräften umreißt Abbildung 20:

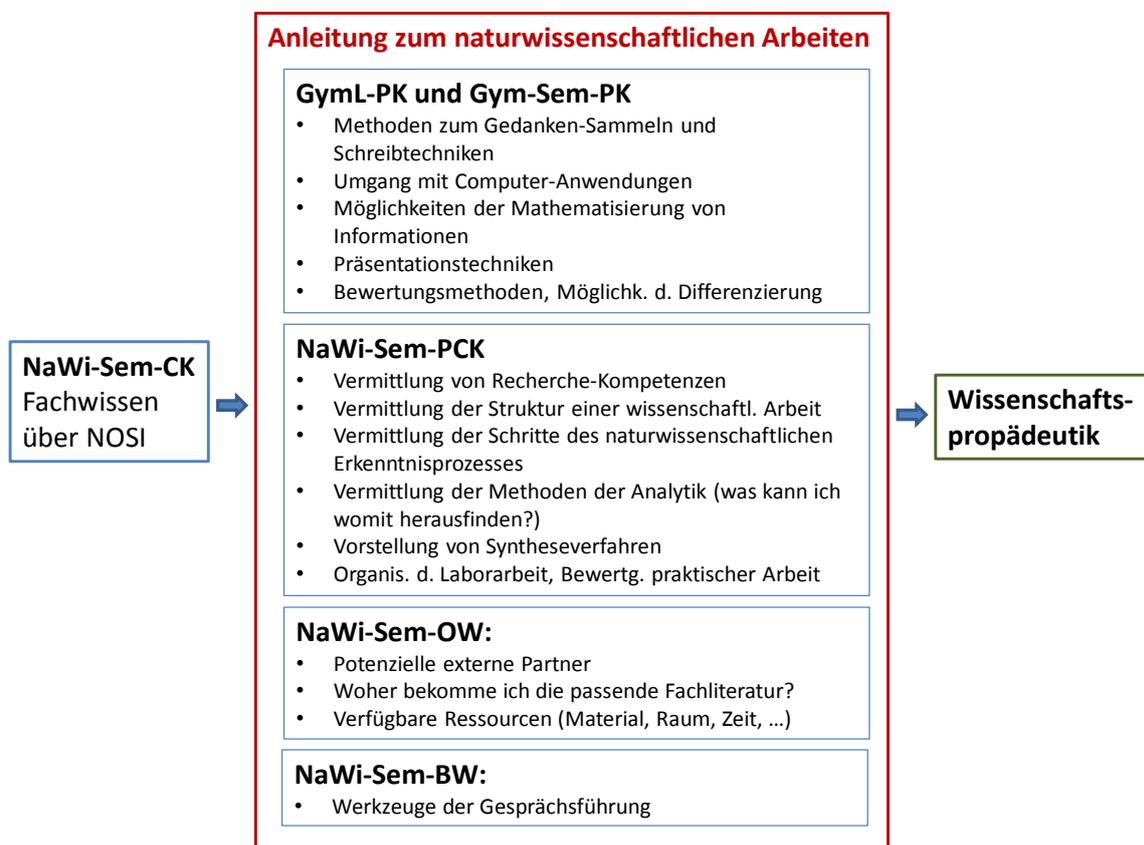


Abbildung 20: Professionelle Kompetenzen für eine erfolgreiche Wissenschaftspropädeutik

Am häufigsten benötigten die Lehrkräfte im Rahmen der Seminare ihr allgemeines Wissen, das sie als Gymnasiallehrer haben (Gym-L: 36,8%) und ihr fachspezifisches Wissen als Lehrkraft der Naturwissenschaften (NaWi-L: 34,4%%). Mit den Anforderungen und Herausforderungen in diesen Bereichen kamen sie offensichtlich auch gut zurecht. In etwa über einem Viertel der Äußerungen sprachen sie über

Belange, die für die Situation in den Seminaren spezifisch war, und ohne diese auch nicht aufgetreten wären (Gym-Sem: 26,5%). Sie benötigten hier vor allem ein **fachunabhängiges Seminarfach-Wissen** – zum Beispiel über Projektmanagement, über die Zusammenarbeit mit externen Partnern, aber auch über die Gelegenheit, Schüler frei und selbstbestimmt vorgehen zu lassen, auch beim Experimentieren. Für die Mehrzahl dieser Fälle gaben sie an, mit diesen Anforderungen Probleme gehabt (9,7%) bzw. sie letztlich nicht erfolgreich bewältigt zu haben (7,3%).

Die Inhalte des fachspezifischen und fachübergreifenden Seminarfach-Wissens wird in untenstehender Matrix (Abbildung 21) systematisiert. Es ist ersichtlich, dass sich für die Seminarfächer spezifische Inhalte von Professionswissen identifizieren lassen. Diese Aspekte sind für die erfolgreiche Durchführung von Seminaren unverzichtbar. Daher müssen die Lehrkräfte die Gelegenheit erhalten, sie zu erwerben – bzw. müssen diese Inhalte in der **Ausbildung zukünftiger Lehrkräfte** explizit enthalten sein! Unter diesem Gesichtspunkt ist die angestrebte stärkere Praxisorientierung der Lehramts-Ausbildung zu begrüßen. Es wird aber auch deutlich, dass der erziehungswissenschaftliche Teil des Studiums mindestens um den Aspekt des Projektmanagements erweitert werden sollte. Ebenso wird klar, dass das eigenständige Forschen zwingend zur Ausbildung einer Lehrkraft der Naturwissenschaften gehören muss, damit sie ein realistisches Bild der Naturwissenschaften transportieren und ein W-Seminar führen kann. Im Rahmen der momentanen Vorgaben der LPO I ist dies mit dem vorgesehenen Rahmen für die Zulassungsarbeit in einem naturwissenschaftlichen Fach realistisch nicht zu leisten.

Dass die neuen Unterrichtsformate Seminarfach dennoch als gelungene Neuerung angesehen werden können, ist primär der Bereitschaft der Lehrkräfte zuzuschreiben, aus eigener Kraft das Notwendige zu tun, um den Schülern ein gewinnbringendes Lernen zu ermöglichen. Hierfür wurden ihnen keine Stunden angerechnet und bis auf die wenigen erwähnten Fortbildungsmaßnahmen und Broschüren auch kaum Hilfe gegeben. Wie

Abbildung 22 zeigt, sind viele der aufgezeigten Aspekte des Seminarfach-Wissens im Gymnasium nicht grundsätzlich *neu*. Im Rahmen von außerunterrichtlichen und außercurricularen Veranstaltungen wie AG's, Projekten, Exkursionen etc. haben einzelne Lehrkräfte viele dieser Expertisen erworben und angewendet – allerdings als freiwilliges Additum. Nun aber ist dieses Wissen von ALLEN Gymnasial-Lehrern in Bayern regulär gefordert. Zu einer professionellen Implementierung der Seminarfächer gehört damit auch das zur Verfügung stellen entsprechender Ressourcen, um eine passende Fortbildung und Ausbildung der Lehrkräfte zu ermöglichen.

Aspekte professioneller Kompetenz

BW		Herangehensweise Beratung bei Problemen während des Forschens		Coaching- und Mentoring-Methoden Methoden der Berufsberatung
OW	Verfügbare Chemikalien und Geräte Möglichkeiten der Entsorgung Universitäre Kontakte	Mögliche fachspezifische externe Partner Weitergehende universitäre Kontakte Eltern als Fachleute Organisation Laborarbeit		Möglichkeiten der L-Fortbildung zu Seminaren Vertragsabschluss externer Partner
PK		Benotung des praktischen Arbeitens	Möglichkeiten der digitalen Kommunikation mit SuS	Offene Unterrichtshaltung; andere Leistungsdefinition und -erhebung Setzen von Meilensteinen
PCK	Anleiten beim Experimentieren Sicherheit beim individuellen Experimentieren in Gruppen	Umsetzung NOSI Anleitung zum naturwiss. Arbeiten, fachtypisches Recherchieren und Zitieren Anl. Zum Nutzen von Formelprogrammen	Fachunabhängige Anleitung zu Recherchieren, Schreiben, Präsentieren	Heranführen an Projektmanagement Vermittlung von Bus-Kompetenzen
CK	NOSK	NOSI Analyseverfahren d. Chemie Fachwissenschaftl. Literatur Formelprogramme	Allgemeine Medienkunde	Inhalte und Strukturen des Projektmanagements Berufs- und Studienfachkunde Kreativitätstechniken u. a. Methoden
NaWi-L		NaWi-Sem-	Gym-L-	Gym-Sem
Fachspezifität				

Abbildung 21: Inhalte eines fachspezifischen und fachunabhängigen Seminarfach-Professionswissens

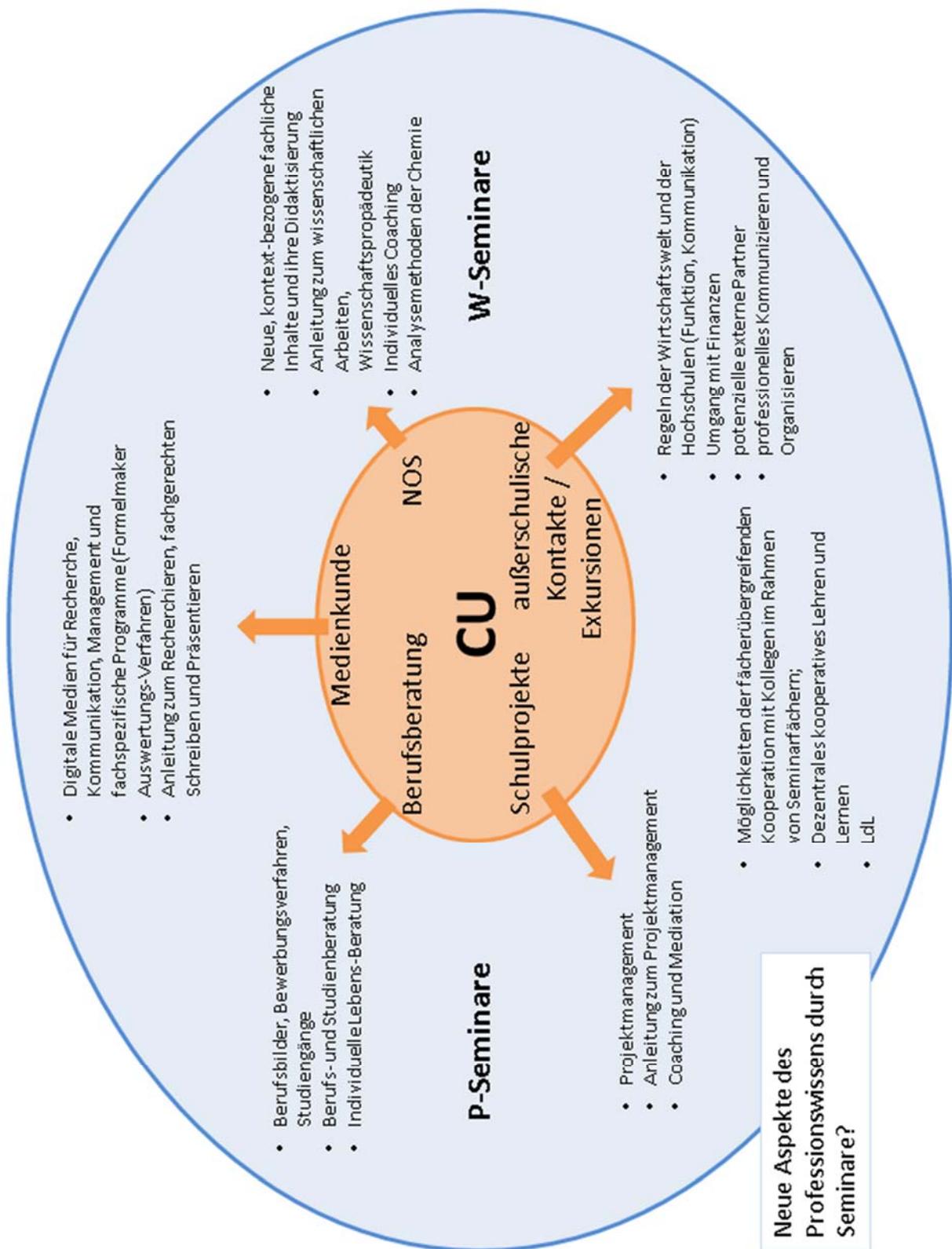


Abbildung 22: Aspekte freiwilliger Profession von Gymnasiallehrern und verpflichtender Aspekte eines Seminaarfach-Wissens

5.4. Implementation der W- und P-Seminare in Bayern

Die Seminarfächer können in folgendem Sinne als Curricula verstanden werden: „Curricula sind mehr oder weniger detaillierte Planungen und Festlegungen von Unterricht“ (Lütgert & Stephan, 1983, S. 501). Die Autoren sehen für die Implementation solcher Curricula drei unterstützende Strategien vor (ebd., S. 509):

- Lehrerfortbildungen,
- Feed-back-Mechanismen und kooperative Planung sowie
- Bereitstellung von Ressourcen.

Im vorliegenden Fall wurden so genannte Mediatoren durch Lehrerfortbildungen an der Akademie in Dillingen weitergebildet. Sowohl diese Lehrkräfte als auch die Mitarbeiter der Direkorate haben nach Aussagen der Befragten in **schulinternen Lehrerfortbildungen** den Kollegen die Formalien der Seminare mitgeteilt, wobei aus den Äußerungen der Lehrkräfte deutlich wurde, dass diese lokale Präsentation zwar die formalen Vorgaben der Seminare transportieren konnte, nicht aber die notwendigen pädagogischen Leitgedanken, geschweige denn die notwendigen Methoden, wie besonders am Beispiel des Projektmanagements deutlich wurde. Insofern ist, ausgehend von der vorliegenden Studie, der Aspekt der Lehrerfortbildungen bei weitem nicht in hinreichendem Maße für eine erfolgreiche Implementation erfolgt – ein Befund, der die Ergebnisse der zitierten ISB-Umfrage bestätigt (Vogt & Gottfried, 2011).

Unter der „Bereitstellung von **Ressourcen**“ ist im weiteren Sinne einerseits das Weitergeben von Materialien und technischem Know-how gemeint. Mit der ausführlichen und informativen Broschüre des ISB, die schließlich auch digitalisiert und damit allen Lehrkräften zugänglich gemacht wurde, erhielten diese umfangreiches Material zur gedanklichen und formalen Konzeption der Seminare. Wenige weitere Veröffentlichungen (siehe Kap. 2.4.5) ergänzten diese formalen Informationen. Über den BuS-Ordner wurde zudem versucht, den Lehrkräften Material für den entsprechenden Teil des P-Seminars zur Verfügung zu stellen. Auf dieser Ebene erfolgte also eine Implementation. Zum anderen nennen Lütgert et al. aber das Bereitstellen von genügend Zeit als „notwendige Voraussetzung für die Lernprozesse der Lehrer“ (1983, S. 510). Nach unseren Informationen wurden den Lehrkräften für die erste Durchführung der Seminare keine Anrechnungsstunden, also keine zusätzliche Zeit zugestanden. Als letzten, dritten Punkt der professionellen Implementation werden „informelle Formen des gegenseitigen Erfahrungsaustausches und der kooperativen Unterrichtsplanung zwischen Entwicklern und Verwendern“ gefordert (ebd.). Mit der Durchführung eines mehrjährigen Schulversuchs wurde dieser Austausch nach Aussagen Beteiligter (Manhardt, 2010) in der konzeptionellen Phase integriert, aber nicht systematisch weiter geführt. Ein **Austausch** fand hingegen **zwischen den beteiligten Kollegen** statt:

„Also wie gesagt, ich habe, ich bin dafür, ich werde es das dieses Mal anders machen. Weil ich halt jetzt einfach die Erfahrung gemacht habe, vom letzten Seminar, und meine Kollegin, die jetzt dazwischen ist, die hat da mehr oder weniger das alles oder meine Fehler schon gleich berücksichtigt“ (LF1-W1; Zeile 34).

„Ich habe dann auch eine Kollegin kennen gelernt, die auch so ein bisschen gezwungen wurde, eins anzubieten und die dann genau das gleiche Thema anbietet. An einer benachbarten Schule. Das heißt ich kann mit der so ein bisschen zusammenarbeiten (lacht)“ (LF1u2-P6; Zeile 17).

„Also so ein paar Sachen weiß ich jetzt schon durch den Herrn Kollegen und den Rest muss ich sehen. [...] Also irgendjemand hat schon auch [an der Lehrerfortbildung] teilgenommen. Da müsste ich aber jetzt umhören, wer es war. Aber ich habe mich - ehrlich gesagt - mal querbeet unterhalten“ (LF1-P1; Zeile 35 und 53).

„Ich meine, da hätte ich auch keine Bedenken gehabt. Dass ich jetzt irgendwen fragen muss. Das habe ich jetzt beim Projektteil selber auch. Nur beim BuS-Teil. Da würde ich mich jetzt überhaupt nicht auskennen, wenn ich nicht irgendwen fragen könnte“ (LF1u2-P6; Zeile 441).

Auch dieser kollegiale Austausch ist allein durch die Lehrkräfte selbst induziert und nicht systematisch vorgesehen. Angesichts der offensichtlichen Effektivität dieses Austausches von *best-practice-Erfahrungen* wäre es wünschenswert, wenn planmäßig Ressourcen für einen Austausch zwischen den Kollegen vorgesehen wären. Zusätzlich zur Fortbildung in den in dieser Arbeit identifizierten fachwissenschaftlichen Bereichen scheint daher eine Implementation der W- und P-Seminarkonzepte über **Lerngemeinschaften von Lehrkräften**, wie sie international bewährt sind, sehr sinnvoll (siehe z. B. Demuth et al., 2008; Lohwasser, 2013; Terhart & Klieme, 2006). Wie die hier vorgestellten Befunde zeigen, kann die Implementation der Seminarfächer in bayerischen Gymnasien also nicht als systematisch, planmäßig und erfolgreich beschrieben werden. Tatsächlich zeigen die Befunde (z. B. Tabelle 28: Vorerfahrung und Fachspezifität der Anforderungen bei P-Seminaren), dass die Lehrkräfte letztendlich die notwendigen Expertisen für die Seminare erst im Zuge der eigentlichen Durchführung erlangen. Damit dienen die ersten Semindurchgänge einem *Learning-by-doing* der Lehrkräfte, was gegenüber den Schülern dieser Jahrgänge eine Belastung und sicher keine professionell akzeptable Herangehensweise darstellt.

Unabhängig davon bringen die Seminare in den Fächerkanon des bayerischen Gymnasiums durchaus wünschenswerte Freiheiten für eine innovativere und dem individuellen Schüler zugewandte Pädagogik ein, sodass eine Fortführung dieser Formate unbedingt erstrebenswert ist. Auch konnte gezeigt werden, dass die Seminare das Potenzial haben, fächerübergreifenden Kontakt und neue Kooperationsformen innerhalb des Kollegiums zu initiieren und damit eine Schulentwicklung insgesamt anzustoßen. Wie die Universität gegebenenfalls helfen kann, die Lehrkräfte bei einer professionellen und qualitativ hochwertigen Umsetzung der einzelnen Seminare zu unterstützen, wird im nächsten Teil dieser Arbeit aufgezeigt.

6. Angebote der Universität für W- und P-Seminare

Im Folgenden werden zunächst verschiedene Möglichkeiten beschrieben und diskutiert, wie Universitäten im Fach Chemie als externe Partner für W- und P-Seminare die Lehrkräfte organisatorisch und inhaltlich unterstützen können. Im Anschluss wird eine Lehrerfortbildung vorgestellt, mit der den Lehrkräften vielseitige didaktisch-methodische Werkzeuge für die Gestaltung von W-Seminaren an die Hand gegeben werden soll. Abschließend wird aufgezeigt, wie Lehr-Lern-Labore (LLL) einen fachlichen Beitrag zu W- und P-Seminaren leisten können. Speziell hierfür wurde ein LLL „Analyseverfahren der Chemie“ entwickelt und im Detail beschrieben. Letztendlich sind diese Maßnahmen qualitativ hochwertige W- und P-Seminare, die die Schüler möglichst optimal auf das spätere Berufsleben und ein Studium an einer Hochschule vorbereiten.

Seminarfächer und Studiengangwahl im Fach Chemie

Der Effekt der Umstellung von Leistungskursen auf Seminarfächer sowie die Festlegung auf die jetzige Form des Abiturs auf die Studiengangwahl der Schüler in Bayern kann noch nicht objektiv eingeschätzt werden. Deutlich wurde aber in den letzten drei Jahren, dass die Fächer Chemie und Physik kaum noch für das Abitur gewählt werden: Zwischen 2008 und 2013 ist der Anteil bayerischer Abiturienten, die eine schriftliche Abitur-Prüfung in Chemie ablegten, um 78,8% zurückgegangen (Abbildung 23). Dieser Trend erscheint für die zukünftige Entwicklung der Naturwissenschaft Chemie bedenklich. Abzuwarten bleibt, ob die im Zuge der Oberstufenreform in Bayern und anderen Bundesländern vorgenommenen Veränderungen wohlmöglich einen negativen Effekt auf die Studienanfängerzahlen in den Naturwissenschaften haben werden. Bisher zeigen die von der Gesellschaft Deutscher Chemiker GDCh veröffentlichten Studienanfängerzahlen keinen Einbruch für Chemie-bezogene Studiengänge.

Nach Eindruck unmittelbar beteiligter Lehrkräfte und Direktoren an den Schulen hat das Fach Chemie in Bayern einen Bedeutungsverlust erfahren, der einen solchen Rückgang befürchten lässt. Auch das im Vergleich zu früher schlechtere Abschneiden Bayerns im deutschlandweiten IQB-Ländervergleich⁵⁰ mag ein Hinweis auf diesen Bedeutungsverlust sein: Im Fach Chemie liegt Bayern inzwischen auf Rang sechs hinter den ostdeutschen Bundesländern, während es in den vergangenen Jahrzehnten auf den ersten Plätzen rangierte. Da die Daten aber schulartübergreifend erhoben wurden, ist ihre Aussagekraft für das Gymnasium nicht gut einschätzbar. Somit

⁵⁰Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen (Pant et al., 2013)

müssen zukünftige Daten letztlich eine Objektivierung der hier angedeuteten Eindrücke liefern.

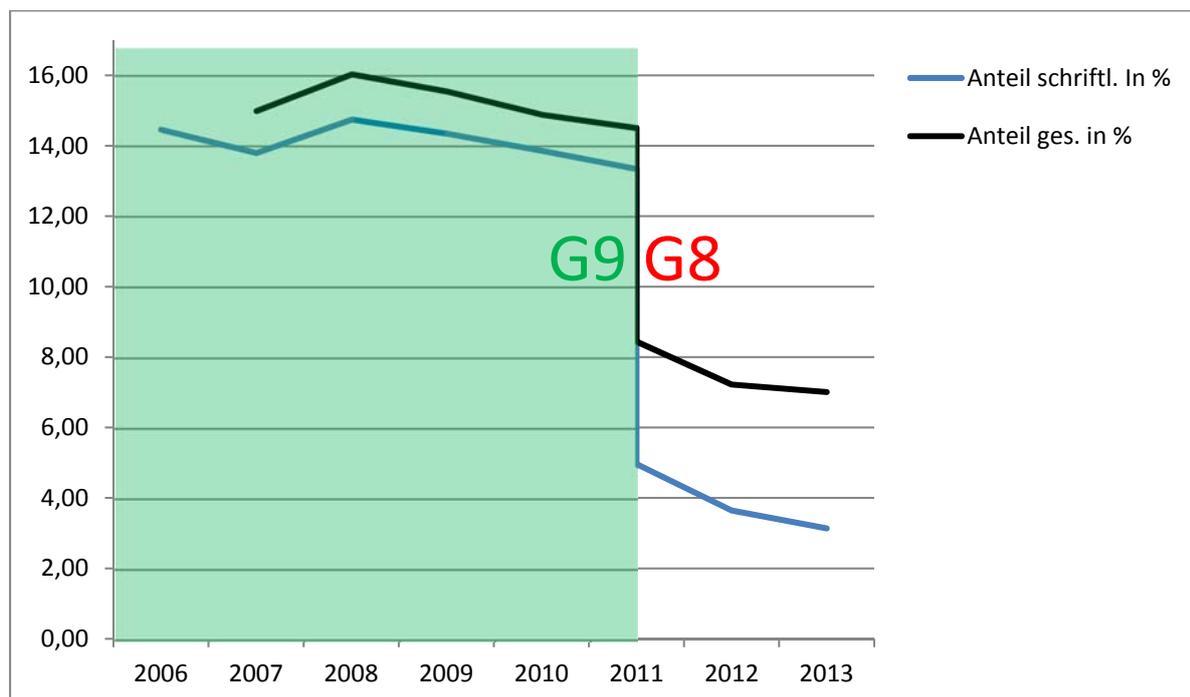


Abbildung 23: Anteil bayerischer Abiturienten, die Chemie im Abitur belegten (Waltraud Habelitz-Tkocz, 2014)

Auch unter den Professoren der Chemie-Fakultäten ist ein Bewusstsein für die Notwendigkeit vorhanden, früh Schüler an die Universitäten zu bringen, um ihnen die Möglichkeiten eines chemiebezogenen Studiums nahe zu bringen. Die W- und P-Seminare mit ihrem Bedarf an externen Kooperationspartnern sind hier als geeigneter Ansatzpunkt für einen Kontakt zwischen Schule und Hochschule erkannt worden und fördern die Bereitschaft, Ressourcen für diese Belange zur Verfügung zu stellen. Das M!ND-Center der Universität Würzburg mit seinen Lehr-Lern-Laboren ist hierfür ebenso ein Beispiel, wie die inzwischen fest etablierten P-Seminartage an der Fakultät für Chemie und Pharmazie. Diese wurden – ebenso wie weitere in Tabelle 32 aufgeführte Konzepte – im Rahmen dieser Arbeit entwickelt und erprobt und sollen im Folgenden überblickartig dargestellt werden.

Tabelle 32: Ausgewählte Beispiele für Kooperationen zwischen Chemie-Didaktik und W- und P-Seminaren im Rahmen dieser Arbeit

W- / P-Seminar	Thema	Art der Kooperation
W	Weinanalytik	Überlassung Konzept (Zula)
W	Photochemie	Labortag Seminararbeit (UV-VIS) W-Seminartag
W	Elektromagnetische Strahlung in Technik und Medizin	W-Seminartag Betreuung Seminararbeit (NMR)
W	Chemie in der Küche	LLL Analytik Literatur
W	Kochen, Backen , Braten	LLL Analytik Begleitung Seminararbeiten durch Zula (Labortag), Beratung
W	Chemie mit Haut und Haaren	Literatur, Beratung LLL Analytik
P	Chemie-Show	P-Seminartag, Projekt-Partner
P	Schauchemie	P-Seminartag
P	Chemie-Show	P-Seminartag
P	Chemie-Show und chemische Pause	Chemikalien, Info, Zula-Begleitung, P-Seminartag
P	Chemie-Show am TdoT an der Uni	Chemikalien, Info, externer Auftraggeber
P	Lehrfilm: Chemie rund ums Auto	Vortrag, Schülerlabor „Kunststoffe“
P	Chemie-Show	Chemikalien P-Seminartag

6.1. Kooperationsformen

Bibliothek

Für das Verfassen einer naturwissenschaftlichen Arbeit – zum Beispiel im W-Seminar – ist eine gründliche Recherche unerlässlich. Die Schüler merken schnell, dass das Internet hierfür nur bedingt geeignet ist, weil spezifische Informationen dort nur selten und in nicht kontrollierbarer Qualität zu finden sind. Somit ist der Zugriff auf eine fachlich orientierte Bibliothek für W-Seminare unerlässlich. Abhängig vom bearbeiteten Projekt benötigen auch viele P-Seminare fachspezifische Informationen.

Diese sind in der Regel in Schul- oder Stadtbibliotheken nicht zu finden, sondern nur über Universitätsbibliotheken zugänglich. Die Universitätsbibliothek Würzburg bietet Schülern auf ihrer Homepage umfangreiche Hilfen von der Beantragung eines Ausweises bis zur eigentlichen Recherche an.

Erfahrungen

Für die hier begleiteten W- und P-Seminare zeigte sich schnell, dass über die Recherche in der Universitäts-Bibliothek hinaus weitere Suche nach Fachliteratur nötig war. Teilweise konnten unter Anleitung die entsprechenden Informationen in Teilbibliotheken gefunden werden. Beispiele hierfür sind die Anleitung für die Herstellung eines „Antimon-Regulus“ oder weiterführende Literatur zu Schau-Experimenten für ein P-Seminar. Andere Informationen konnten auch über die Teilbibliothek nicht generiert werden. So war es z. B. für das Auffinden eines geeigneten Laufmittels für einen dünnschicht-chromatographischen Nachweis von Steviosid aus Stevia-Blättern die Einsicht in Literatur-Datenbanken notwendig, die nur über Mitarbeiter der Pharmazie möglich war. An dieser Stelle ist die individuelle Betreuung der Schüler und Hilfe bei der Kontaktaufnahme mit Spezialisten unabdingbar für das Gelingen der Seminararbeit. Diese Rolle kann von der Lehrkraft in der Regel nicht übernommen werden, sondern muss von einem Mitarbeiter der Universität oder auch Lehramtsstudierenden in höheren Semestern geleistet werden (siehe hierzu auch Amthor (2013)).

Zugang zu Chemikalien und Geräten

Viele Lehrkräfte beklagen, dass ihnen für die Seminarfächer keine zusätzlichen finanziellen Ressourcen für Materialien und Ausstattung zur Verfügung gestellt werden. Gerade in den experimentell orientierten Fächern Chemie und Physik müssen daher die Fachschafts-Etats genügen. In vielen Fällen ist für die experimentelle Umsetzung der Seminararbeiten die Ausstattung der Schule nicht ausreichend. Die Didaktik der Chemie wurde in solchen Fällen häufig um Hilfe zur Beschaffung von Chemikalien ersucht. Auch im apparativen Bereich konnte die Universität helfen, zum Beispiel durch den Verleih eines Photometers oder die Organisation von Trennsäulen etc.

Erfahrungen

Regelmäßig wurden Trockeneis oder flüssiger Stickstoff angefragt, aber auch seltene und für Schulen ansonsten nicht relevante Chemikalien wurden benötigt (z. B. Maßlösungen für eine Komplexometrie). Als relativ aufwändig stellte sich dabei der sachgemäße **Transport** solcher Chemikalien dar. Ohne die Ausstattung der Universität mit entsprechenden Transportkisten sowie die Verfügbarkeit des notwendigen Fachwissens durch die Sicherheitsbeauftragten wären diese Seminararbeiten oder Projekte nicht möglich gewesen⁵¹. Als besonders wichtiger

⁵¹Besonderer Dank geht an dieser Stelle an Herr Ehrensberger und Frau Rubens

Aspekt hat sich die Beratung der Lehrkräfte in Belangen der **Sicherheit** erwiesen. Hierbei ging es in erster Linie um Show-Experimente, die in Maßstäben und Situationen durchgeführt wurden, die so in der Schule nicht vorkommen, oder im Rahmen von Seminararbeiten wurden Experimente durchgeführt, die bisher für die Schule noch nicht erschlossen wurden. Die **professionelle Gefahrenbeurteilung** für die Schule ist gerade in letztgenanntem Fall oft hoch komplex und für eine Lehrkraft allein kaum zu leisten. Anzumerken ist hier, dass für alle diese Belange an der Universität kein Budget vorgesehen ist und auch hier auf andere Ressourcen zugegriffen werden muss. Nur in seltenen Fällen stand den Schulen Geld zur Verfügung oder hatten die P-Seminare Spenden einwerben können, die zum Teil die Kosten der Chemikalien decken.

Labortage

In Fällen, in denen für die Seminararbeiten Experimente nötig waren, die an der Schule nicht durchgeführt werden können, bietet die Didaktik der Chemie inzwischen so genannte *Labortage* an. Typische Gründe hierfür sind z. B. apparative Methoden, die an einer Schule nicht zur Verfügung stehen oder Geräte betreffen, die nicht an die Schule ausgeliehen werden können. Alternativ müssen Experimente durchgeführt werden, die besondere, im schulischen Rahmen nicht bewältigbare Anforderungen an Sicherheit oder Entsorgung stellen. Die Schüler nehmen in der Regel Kontakt über e-Mail auf. Sie müssen ihre Fragestellung, ihre bisherige Herangehensweise sowie nach Möglichkeit auch schon ihr experimentelles Vorhaben in einem kurzen *Proposal* darstellen. Diese Bedingung wird gestellt, um ziellose und unvorbereitete Anfragen zu vermeiden. Bei entsprechender Realisierbarkeit wird ein Termin verabredet, zu dem der Schüler an die Universität kommt. An diesem Labortag wird der Schüler individuell von einem Mitarbeiter der Didaktik betreut. Auch hierbei ist anzumerken, dass hierfür keine personellen oder finanziellen Ressourcen vorgesehen sind, sondern diese Betreuung neben den üblichen Aufgaben geleistet wird. Ausnahmen sind Zulassungsarbeiten, in deren Rahmen die Betreuung von drei Labortagen stattfand (Amthor, 2013). In Tabelle 33 sind die bisherigen betreuten Themen aufgeführt.

Tabelle 33: In Labortagen betreute W-Seminar-Themen

Thema	Versuch	Beitrag der Universität
Extraktion von Beta-Carotin aus der Karotte und Bestimmung der Wirkung als Radikalfänger	Quantitative Bestimmung des Carotin-Gehalts per UV-VIS in verschiedenen Proben	UV-VIS-Spektroskopie Einweisung und Betreuung der Messungen
Überprüfung der Farbstoff-Angaben von verschiedenen Süßigkeiten	Dünnschichtchromatographie	Anleitung und zur Verfügung stellen der

		Materialien, v. a. der Vergleichs-Proben
Isolierung von Farbstoffen aus Blüten	Identifikation der Farbstoffe	UV-VIS-Spektroskopie Gerät, Anleitung
Identifikation von Anthocyanen in verschiedenen Weinen	UV-VIS-Spektroskopie	UV-VIS-Spektroskopie Gerät, Anleitung, Beratung
Bestimmung des Apfelsäuregehalts verschiedener Weine	Isolierung per Säulenchromatographie mit Ionenaustauschern; Spektroskopische Quantifizierung per UV-VIS	Zur Verfügung stellen der Säulen und des Ionenaustauschers; UV-VIS-Spektroskopie, Gerät, Anleitung
Übersetzung einer alchemistischen Anleitung zur Herstellung eines Antimon-Regulus aus dem Lateinischen und Synthese eines Antimon-Regulus	Reduktion von Antimonoxid mit Eisen	Literaturrecherche, Materialbeschaffung, Gefährdungsbeurteilung, Betreuung des Versuchs
Massen-Spektrometrie	Erstellen und Interpretieren eines MS-Spektrums	Information; Betreuung einer Messung;
Steviosid - der Wundersüßstoff für Zuhause?	Extraktion von Steviosid, Testverfahren zu Süßegrad,	Analyse der Extrakt-Bestandteile mit DC, IR-Spektroskopie, UV-VIS-Spektroskopie
Fluoreszierende Stoffe in der Getränkeindustrie	Bestimmung des Chinin-Gehalts von Getränken	Fluoreszenz-Spektroskopische Bestimmung des Chinin-Gehalts
Maillard-Reaktion	Maillard-Reaktion unter verschiedenen Bedingungen, Standardisierte Geruchstest;	Identifikation der entstandenen Produkte mit IR-Spektroskopie
Extraktion von Pfefferminzöl aus Pfefferminze und Identifikation der Inhaltsstoffe	Beleg der erfolgreichen Extraktion von Pfefferminzöl	Beschaffung der Referenz-Proben und Nachweisreagenzien; Dünnschicht-Chromatographie und IR-Spektroskopie

Erfahrungen

Nicht selten erfolgen relativ planlose Anfragen von Schülern, aus denen deutlich wird, dass sie schlecht vorbereitet sind. In den meisten Fällen dürfte dies an den Schülern liegen. Es kam aber auch vor, dass Lehrkräfte den Schülern *Themen* für ihre Seminararbeiten gaben, und keine Fragestellungen. Es wurde dann erwartet, dass dem Schüler an der Universität das apparative Analyseverfahren erklärt und „mal eine Messung“ mit ihm durchgeführt werde. Ein Bewusstsein dafür, dass eine solche Messung mit einem massiven finanziellen und die Betreuung mit deutlichem personellen Aufwand einhergeht, war nicht vorhanden. Solche Fälle waren aber die Ausnahme – in der Regel waren die Schüler, betreut durch die Lehrkräfte, gut vorbereitet und konnten konkrete Versuchsanleitungen vorlegen.

Die Fragestellungen, denen die Schüler in ihren Seminararbeiten nachgehen, sind zum Teil recht anspruchsvoll und fordern auch vom universitären Betreuer, dass er sich in das Thema einliest. Die Betreuung eines Labortages bedeutet nach unserer Erfahrung für den Universitäts-Mitarbeiter im Durchschnitt ein bis zwei Tage inhaltliche und organisatorische Vorbereitung plus einen Tag tatsächliche Betreuung. Dies stellt einen Aufwand dar, der in größerem Umfang neben dem regulären Universitäts-Betrieb nicht zu leisten ist.

Externe Berater

In vielfältiger Weise standen die Mitarbeiter der Didaktik der Chemie für fachliche Informationen entweder selbst als Ansprechpartner zur Verfügung, oder vermittelten den Kontakt zu entsprechenden Fachleuten. Im einfachsten Fall wurde die Autorin als Dozent eingeladen, um die Schüler zum Beispiel über die Vorgehensweise bei der Erstellung eines Lehrfilms zur „Chemie rund um das Auto“ zu beraten. Längerfristige Betreuungsformate wurden im Rahmen verschiedener Zulassungsarbeiten erprobt. So wurde das P-Seminar „Chemische Pause“ von einem Studierenden begleitet, der sowohl bei der Betreuung der praktischen Laborarbeit der Lehrkraft assistierte, als auch für Fragen der Schüler als Experte zur Verfügung stand (B. Fischer, 2012). Für ein W-Seminar „Chemie beim Backen, Kochen, Braten“ stand die Studierende als Ansprechpartnerin online und telefonisch den Schülern für Fragen zur Seminararbeit zur Verfügung (Amthor, 2013).

Erfahrungen

Die Schüler empfinden es als sehr positiv, neben der Lehrkraft weitere Ansprechpartner zu haben. Der Kontakt zu *echten Fachleuten* wirkt motivierend und beeindruckt die Schüler langfristig, wie Schüler und Lehrer uns gegenüber immer wieder betont haben. Hier bestätigen sich die oben diskutierten Befunde der Studie zur Bedeutung des **Echtheitscharakters** für die Motivation der Schüler. Auch die Lehrkräfte begrüßen die Möglichkeit, Fachleute der Universität als Berater in Anspruch nehmen zu können. Sie äußern, bei manchen der Seminarthemen an Grenzen zu stoßen, bei denen sie auf Hilfe angewiesen sind – ein Beispiel für die

Erweiterung des **fachspezifischen Seminarfachwissens** der Lehrkräfte. Weiterhin konnte die Universität auch Anregungen für die Durchführung der Seminarfächer geben. Neben der unten ausführlich beschriebenen Lehrerfortbildung gehörte hierzu vor allem die Überlassung von Konzepten an Lehrkräfte und damit verbunden die Anregung verschiedener Themen für W- und P-Seminare:

Konzeptueller Input

Im Rahmen verschiedener Zulassungsarbeiten wurden vielseitige Konzepte für W- und P-Seminare entwickelt (Tabelle 34). Diese Konzepte werden auf Anfrage interessierten Lehrkräften mit Einverständnis der Studierenden zur Verfügung gestellt und von den Lehrern bei der Umsetzung ihrer Seminare genutzt.

Erfahrungen

In Lehrerfortbildungen und Interviews haben die Lehrkräfte geäußert, dass es ihnen schwerfalle, **geeignete Themen für Seminare** zu finden. Weiterhin geben sie an, dass es eine Herausforderung sei, realistisch umsetzbare Experimente zu erschließen. Gern nehmen sie daher universitäre Anregungen in Anspruch - die Konzepte zur Weinanalytik zum Beispiel haben inzwischen in vier W-Seminare in Unterfranken Eingang gefunden.

Tabelle 34: Entwickelte Konzepte für W- und P-Seminare

W/P	Studierender	Thema
W	Zeller, Thomas	Konzept für ein W-Seminar zum Thema „Bier“
W	Kremsreiter, Johannes	Konzept für ein W-Seminar „Weinanalytik“
W	Schäfer, Claudia	Vorschläge für Seminararbeitsthemen im W-Seminar „Polymere“
W	Fischer, Ben	„Inhaltliche Begleitung und qualitative Beschreibung eines Projekts innerhalb eines P-Seminars im Leitfach Chemie“
W	Glaiter, Stephanie	Gesundheit und menschlicher Körper – Themen für ein W-Seminar
W	Amthor, Katharina	Kooperation zwischen Universität und W-Seminar im Fach Chemie
W	Volkamer, Sandra	„Chemie treibt's bunt“ im W-Seminar
W	Betz, Michaela	Ungewöhnliche W-Seminarthemen zu „CO ₂ und Treibhauseffekt“
W	Maisel, Alexandra	Chemie der Schokolade
W	Oster, Monika	Experimente zum UV-Schutz
P	Schuch, Theresa	Entwurf eines P-Seminars zum Thema „Molekularküche“

Externe Auftraggeber

Universitäten können aber auch als externer Auftraggeber für P-Seminare auftreten: Mit dem P-Seminar „Chemie-Show“ aus Rothenburg o. T. wurde z. B. vom Dekanat der Fakultät ein Vertrag über eine Schauvorlesung anlässlich des Tags der offenen Tür 2012 abgeschlossen. Das Seminar wurde hierfür fachlich beraten, es wurden Chemikalien und Geräte zur Verfügung gestellt und bei der Sicherheitsbeurteilung und Entsorgung assistiert. Die Schüler kamen zu einer Generalprobe an die Universität und führten am 24.11.2011. sehr erfolgreich eine originelle, 20-minütige Show mit aufwändiger Licht- und Tontechnik, selbst gebastelten (und dennoch sicheren) Kostümen und einem kreativen Gesamtrahmen vor (Abbildung 24).

Erfahrungen

Die Schüler waren zunächst sehr beeindruckt von dem großen Hörsaal (600 Sitzplätze) und der anstehenden Aufgabe. Hierdurch motiviert kam es zu einem gut organisierten, arbeitsteiligen Vorgehen, bei dem die Lehrkraft assistierte, aber auch die Autorin per e-Mail beriet. So mussten zum Beispiel GEMA-Rechte⁵² geklärt und abgegolten werden und hierfür Gelder bei Sponsoren eingeworben werden. All dies sowie das Verfassen des Konzepts, das Einüben der Experimente, die Gestaltung der Kostüme, die Organisation von Licht, Ton und Bildtechnik wurde durch die Schüler geleistet. Die Organisation von Geräten und Chemikalien, aber auch die Überwachung der Sicherheit wurde durch Mitarbeiter der Universität erbracht. Besonders wichtig war hierbei, dass die Kostüme durchweg den **Sicherheitsanforderungen** entsprachen. Bewährt hat sich dabei das Umfärben und Variieren alter Laborkittel aus den Beständen der Universität.

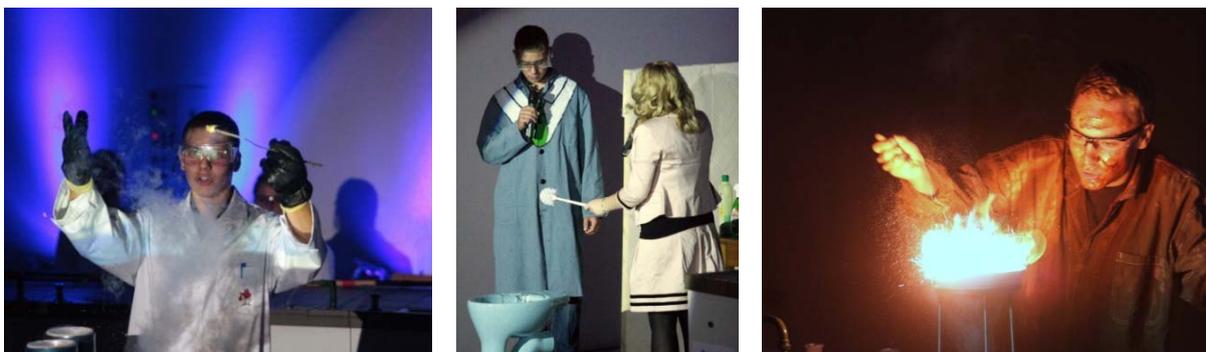


Abbildung 24: Chemie-Show des P-Seminars Rothenburg zum Tag der offenen Tür an der Fakultät für Chemie und Pharmazie der Universität Würzburg

Das Projekt-Seminar hat die Erwartungen des Auftraggebers voll erfüllt und wer schon einmal eine experimentelle Schauvorlesung gehalten hat, kann ermessen, welche beeindruckende Leistung die Schüler mit dieser Chemie-Show erbracht haben.

⁵²GEMA = Gesellschaft für musikalische Aufführungs- und mechanische Vervielfältigungsrechte

Projekt-Partner

Externe Partnerschaften lassen sich aber auch in gemeinsamen Projekten umsetzen. Exemplarisch hierfür steht ein gemeinsames Projekt der Didaktik der Chemie und eines P-Seminars aus Bad Kissingen. Projektziel war ein Experimental-Vortrag auf der GDCh-Jahrestagung 2012 in Freiburg, auf dem erste Forschungsergebnisse zu P-Seminaren vorgestellt und im Anschluss das Produkt eines solchen P-Seminars präsentiert werden sollte. Die Schüler konzipierten eine Chemie-Show, in der sie anhand von selbst ausgewählten und vorbereiteten Experimenten fachliche Inhalte mit viel Fantasie präsentierten, was ihnen ausdrückliches Lob des Fachpublikums einbrachte.

Erfahrungen

Besonders wichtig war in diesem Projekt nach Aussagen der Lehrkraft die Kooperation mit der Universität für die Motivation der Schüler. Bis zum ersten Treffen an der Universität hatten die Schüler nur wenig Arbeit investiert, was schnell in einer völligen Konzeptlosigkeit deutlich wurde. Sie wurden von der Autorin vor die Entscheidung gestellt, ob sie das Projekt aufgeben wollten, oder nicht. Beide Varianten wären akzeptabel gewesen – bei einer Entscheidung für das Projekt wurde aber absolute Zuverlässigkeit und damit Engagement gefordert. Die Bedeutung des **Echtheitscharakters** des Projektes wurde damit auch hier offensichtlich und führte nach Aussagen aller Beteiligten zu einem massiven Motivationsschub. Die Schüler machten sich das Projekt zu eigen, investierten viel Zeit und Kraft in die Show, wuchsen zu einem eingeschworenen Team zusammen, in dem jeder seine Rolle fand und waren schließlich so überzeugt von ihrem Projekt, dass die Schau zwei weitere Male aufgeführt wurde.



Abbildung 25: Chemie-Show des P-Seminars aus Bad Kissingen bei der GDCh-Jahrestagung

P-Seminartage

Für P-Seminare ist u. a. das Kennenlernen verschiedener Berufsfelder vorgesehen (Kap. 3.4). An der Fakultät für Chemie und Pharmazie finden sich die verschiedensten Berufe, vor allem aber natürlich der des Forschenden und Lehrenden. Dem entsprechend wurde ein so genannter „P-Seminartag *Beruf Forscher*“ konzipiert, um Schülern aus P-Seminaren das Berufsbild des Wissenschaftlers präsentieren und die

Möglichkeit zum individuellen Gespräch mit Forschenden eröffnen zu können. Nach einer Vorstellung der an der Fakultät möglichen Studiengänge und Ausbildungsberufe (z. B. der der Chemielaboranten) folgten Vorträge oder die Teilnahme an Vorlesungen. Ein emeritierter Professor referierte zum Beispiel zu „Was machen eigentlich Forscher?“ oder die Grundvorlesung in Anorganischer Chemie wurde besucht. Im Anschluss absolvierten die Schüler den Einführungskurs der Universitätsbibliothek oder erhielten eine Führung durch das neue Praktikumsgebäude. Nach dem Mittagessen folgte ein Vortrag, der sich inhaltlich an den Projekten der Seminare orientierte. So hatten sich zum Beispiel in einem Jahr drei Seminare angemeldet, die im Rahmen ihres Projektes Experimente präsentieren wollten. Ihnen wurden in einem Vortrag die für Demonstrationsexperimente zu beachtenden gestaltungspsychologischen Wahrnehmungs-Gesetze nahegebracht. An einem anderen P-Seminartag erläuterte ein Professor die wichtigsten Hintergründe spektroskopischer Methoden. Abschließend folgte als Höhepunkt des P-Seminartages eine Führung in Kleingruppen von drei Schülern in die Arbeitskreise. Diese Führungen wurden von Doktoranden aus allen Fachgebieten der Fakultät durchgeführt. Die Schüler konnten das Arbeitsumfeld eines *Forschers* kennenlernen, Fragen zum Arbeitsalltag und zu Perspektiven des Berufs stellen und im individuellen Austausch so einen Eindruck vom „Beruf Forscher“ erhalten.

Erfahrungen

Inzwischen wurden solche P-Seminartage an der Fakultät für Chemie und Pharmazie der Universität Würzburg drei Mal durchgeführt mit insgesamt acht P-Seminaren aus Unterfranken. Die Einschätzung der Schüler wurde mit Hilfe eines Fragebogen-Instruments zu den P-Seminaren vor, und zum P-Seminartag im Besonderen nach den Veranstaltungen abgefragt. Da an den verschiedenen Seminartagen verschiedene, für die Seminare maßgeschneiderte Vorträge und Vorlesungsbesuche organisiert wurden, können die Daten hierfür nicht zusammengeführt werden. Über die drei an allen Seminartagen gleichermaßen durchgeführten Programmteile gibt die Untersuchung folgende Rückmeldung der Perzeption durch die Schüler:

Tabelle 35: Rückmeldung der Schüler zu P-Seminartag-Veranstaltungen

Bitte bewerten Sie mit Hilfe der Skala, ob Sie das angeführte Thema für den P-Seminartag sinnvoll finden, oder nicht!	ja	nein	N
Vorstellung der Studiengänge und Ausbildungsberufe	91,0%	9,0%	111
Bibliotheksführung	71,6%	28,4%	102
Führungen in die Arbeitskreise	87,5%	12,5%	112

Alle drei Programmpunkte werden von den P-Seminar-Schülern offensichtlich als sinnvoller Bestandteil des P-Seminar-Tages gesehen, wobei die Vorstellung der Studiengänge und Ausbildungsberufe mit 91,0% Zustimmung am besten angenommen wurde. Auch die Art und Weise der Durchführung wurde grundsätzlich positiv

gesehen, wobei die individuellen Führungen in die Arbeitskreise von den Schülern besonders gut bewertet wurden. Hier kann vermutet werden, dass die **Authentizität** des Erlebnisses und das persönliche Gespräch mit den im Durchschnitt jungen Doktoranden eine Rolle gespielt haben könnten. Diese positiven Rückmeldungen durch die Schüler bestätigen das erfolgreiche Format der Veranstaltung „Beruf Forscher“, sodass es wünschenswert scheint, auch weiterhin P-Seminaren diesen Tag an der Fakultät für Chemie und Pharmazie anbieten zu können.

W-Seminartage

Analog zum P-Seminartag wurde auch für W-Seminare die Veranstaltung „W-Seminartag“ konzipiert. Neben zwei Vorlesungen und einer Führung in die Arbeitskreise sah das Programm am Nachmittag ein so genanntes Lehr-Lern-Labor (LLL) zur Analytik vor.

Erfahrungen

Auch der W-Seminartag stieß bei Schülern und Lehrern auf viel Zustimmung. Bei der Organisation der Veranstaltung wurde aber offensichtlich, dass es sehr schwierig war, eine thematische Schnittmenge zu finden, die für verschiedene W-Seminare geeignet ist. Im Gegensatz zum P-Seminar, in dem die Berufsinformation unabhängig vom eigentlichen Projektthema und letztlich für alle gleich ist, gibt es für W-Seminare kein solch vereinendes Element. Das Konzept *W-Seminartag* wurde dem entsprechend modifiziert. Da von allen angebotenen Programmteilen das Lehr-Lern-Labor zu Analyseverfahren der Chemie von den Schülern laut Fragebogen als sinnvollster Bestandteil eines W-Seminartages angesehen wurde (96% stimmten zu) und in vielen W-Seminaren Analyseverfahren eine Rolle spielen, wurde das Lehr-Lern-Labor erweitert und zu einem eigenen Angebot für W-Seminare ausgedehnt (siehe Kapitel 8).

Lehr-Lern-Labore

An der Universität Würzburg haben sich – einzigartig in Bayern – alle naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken zum M!ND-Center mit dem Ziel zusammengeschlossen, fächerübergreifend Schülerlabore anzubieten. Diese Schülerlabore sind insofern in die Ausbildung der Studierenden einbezogen, als Lehramtsstudierende die Stationen des Labors begleiten und betreuen. Damit ergibt sich für die Schüler eine sehr individuelle Betreuungssituation und für die Lehramtsstudierenden die Gelegenheit, frühzeitig das Lehren in kleinen Gruppen zu überschaubaren Themeneinheiten zu üben. Dem entsprechend werden die Schülerlabore als Lehr-Lern-Labore (LLL) bezeichnet, die sich nach der bisherigen Erfahrung besonders auch für W- und P-Seminare eignen.



Erfahrungen

Von W- und P-Seminaren wurden zum Teil besondere Themenbereiche gewünscht und zunächst für jedes W-Seminar maßgeschneiderte LLL's entworfen. Dem P-Seminar „Chemie rund ums Auto“ wurden zum Beispiel Experimente zu Kunststoffen am und im Auto ermöglicht. Bei aller Zustimmung durch Schüler und Lehrkräfte wurde aber auch deutlich, dass nicht für jedes Seminarthema ein neues LLL angeboten werden kann, auch wenn verschiedene Stationen modulartig zu unterschiedlichen LLL's kombiniert werden. Schließlich kristallisierten sich Themen wie „Lebensmittelinhaltsstoffe“ oder „Weinanalytik“ heraus, die für viele Seminare der Umgebung passen und inzwischen vielfach durchgeführt wurden. Besonders bewährt hat sich das LLL „Analyseverfahren der Chemie“ (Kap. 8), da die Analytik im Lehrplan des bayerischen Gymnasiums nur eine untergeordnete Rolle spielt, viele Seminararbeiten aber naturgemäß analytischen Fragestellungen nachgehen.

P-Seminar-Coachings

Neben der Berufs- und Studienwahlberatung ist das durchzuführende Projekt Kernpunkt der P-Seminare. Da die Inhalte dieser Seminare sehr differieren können, stellte sich die Frage, wie ein gezielter Beitrag der Universität zum Projekt selbst über die oben beschriebenen Varianten hinaus aussehen könnte. Ausgehend von der Erkenntnis, dass einerseits die Authentizität des externen Partners eine große Bedeutung für den Echtheitscharakter des Projektes und damit für die Motivation der Schüler hat, und andererseits die Schüler primär Hilfe bei der Strukturierung und Zielorientierung ihres Projektes brauchen, wurde ein so genanntes P-Seminar-Coaching erarbeitet. Hierzu melden sich die P-Seminare mit einer kleinen Beschreibung ihres Projekts für ein P-Seminar-Coaching an. Durch Absprache mit der Autorin wurden gemeinsam Programme für die Coachings erstellt. Am entsprechenden Tag stellten zunächst die Schüler den bisherigen Stand ihres Projektes vor und gaben einen Ausblick auf weitere geplante Schritte bzw. formulierten Probleme, für die sie in dieser Phase Lösungen suchten. Nach einer kurzen Diskussion folgte dann ein Input-Vortrag zu zentralen fachlichen und didaktischen Inhalten des Projektes. Hierbei ging es – je nach Projekt – zum Beispiel um Grundschuldidaktik und lernpsychologische Aspekte im Kindesalter, um Sicherheitsaspekte beim Experimentieren oder um die Bedeutung von Spielen für das Lernen und die Gestaltung von Lernmaterial. Im dritten Schritt erfolgte ein Workshop, in dem gemeinsam versucht wurde, die wissenschaftlichen Erkenntnisse auf das Projekt anzuwenden, mögliche Wege zur Lösung der Probleme zu finden und ein Ziel für das weitere Vorgehen zu artikulieren.



Abbildung 26: Brainstorming an der Tafel im Workshop beim P-Seminar-Coaching

Erfahrungen

Bisher wurden drei P-Seminare auf diese Weise gecoacht. Dabei ging es um Spiele und Modelle im Chemie- bzw. Biologie-Unterricht, um das Erstellen kleiner Lehrfilme und um Chemie für Grundschulkinder. Durch die Spezifität der Seminarthemen bedeutet jedes dieser Coachings eine umfangreiche Vorbereitung, da jeweils eigenständige Input-Präsentationen erstellt werden müssen. Weiterhin ist eine solche Coaching-Maßnahme für den Dozenten sehr anspruchsvoll, da im Vorfeld weder die Schüler noch der konkrete Stand des Projektes bekannt sind. Der konkrete Verlauf des Coachings muss also im Prozess angepasst werden. Unabdingbar ist eine entsprechend flexible Vorbereitung der Infrastruktur und die Nutzung entsprechender Coaching-Methoden (Abbildung 26).

6.2. Fort- und Weiterbildungen

Die Ergebnisse der empirischen Erhebung haben gezeigt, dass ein deutlicher Weiterbildungsbedarf unter den Lehrkräften besteht und sie ihr Professionswissen für die erfolgreiche Umsetzung von Seminaren erweitern müssen. Angesichts nur weniger Fortbildungsangebote wurde eine Lehrerfortbildung zu naturwissenschaftlichen W-Seminaren konzipiert. Diese wurde inzwischen vier Mal bayernweit durchgeführt und soll im Folgenden genauer beschrieben werden.

7. Die Lehrerfortbildung „Forschen Lernen mit Egg-Races“

Anlass zur Konzeption einer eigenen Lehrerfortbildung (LFB) zur Wissenschaftspropädeutik waren die in Kapitel 5.1.2 und 5.2.2 formulierten Defizite. Besonders berücksichtigt werden sollten Befunde von Abd-El-Khalick und Ledermann dazu, wie die Vorstellung der Lehrkräfte von NOS tatsächlich verbessert werden kann: “To be effective, the use of science-based activities should be coupled with opportunities to help prospective teachers reflect on their experiences from within an explicit framework that outlines certain aspects of NOS” (2000, S. 496). Dem entsprechend wurde in die Lehrerfortbildung ein praktischer Anteil integriert, der abschließend mit den Lehrkräften in Bezug auf NOS reflektiert wurde.

7.1. Durchführung der Lehrerfortbildung

Die Lehrerfortbildung *„Forschen Lernen mit Egg-Races – ein Methodenwerkzeug zur Wissenschaftspropädeutik in Unterricht und W-Seminar“* wurde inzwischen vier Mal in Würzburg, Nürnberg und München erfolgreich von der Autorin durchgeführt. Die teilnehmenden Lehrkräfte erhielten jeweils ein umfangreiches Skriptum (Weirauch, 2016) das die gehaltenen Powerpoint-Präsentationen, theoretische Hintergründe zu den W-Seminaren, Experimental-Anleitungen zu geeigneten Egg-Races, ausführliche Beschreibungen der in der Veranstaltung angesprochenen Methoden sowie Literatur- und Linkempfehlungen enthält. Im Folgenden soll zunächst der Ablauf der Lehrerfortbildungen dokumentiert, die Erfahrungen mit der Fortbildung reflektiert und dann die Elemente des Methodenwerkzeugs Modul „Forschen Lernen“ im Einzelnen inhaltlich und didaktisch vorgestellt werden.

Ablauf und Konzept der Fortbildung

Zum Einstieg wurden jeweils in einem Impulsreferat die Ergebnisse der in Kapitel 4 und 5 dargestellten Forschung vorgestellt und damit die Probleme der befragten Lehrkräfte bei der Umsetzung von W-Seminaren aufgezeigt. Die weitere Fortbildung beinhaltete dann die Erläuterung verschiedene Methoden und Ansätze, mit denen den erkannten Problemen begegnet werden kann.

Impulsreferat

Entsprechend des „W“ im Namen des Seminarfachs wurde zunächst mit der Definition des Begriffes „Wissenschaftspropädeutik“ begonnen und im Folgenden kurz reflektiert, wie es zur Einführung der Seminarfächer kam. Ein Blick auf die konzeptuellen Vorgaben des ISB zeigt die vorgesehenen Freiheiten auf, die als Vor- oder Nachteil empfunden werden können. Auf der Basis von Zitaten aus der empirischen Erhebung wurde verdeutlicht, welche Probleme sich für die Lehrkräfte

nach ihren eigenen Aussagen in den W-Seminaren ergaben. Vier „Frustr-Faktoren“ wurden identifiziert und im Besonderen herausgehoben: Das fehlende chemische Fachwissen der Schüler, das fehlende Zeitmanagement, die fehlenden schriftlichen und mündlichen Artikulations- und Präsentationskompetenzen sowie die häufig fehlende Motivation der Schüler. Die Lehrkräfte wurden gefragt, an welchem dieser Probleme man ihrer Ansicht nach am besten ansetzen könne und solle. Die Motivation als grundlegende Voraussetzung für die Beschäftigung mit allen weiteren Problemen war schnell offensichtlich und damit die Frage nach Möglichkeiten zur Motivation der Schüler im W-Seminar. Mit einer kurzen Reflexion über Inquiry-based Learning und der daraus resultierenden Forderung nach Ergebnisoffenheit sowie einem Blick auf die Natur der Naturwissenschaften NOS wurde verdeutlicht, dass viele Lehrkräfte nach wie vor *Themen* für Seminararbeiten verteilen, statt die Schüler zu einer echten Fragestellung hinzuführen. Das Motivationspotenzial des Echtheitscharakters einer Fragestellung wurde aufgezeigt. Den Lehrkräften wurde hiermit verdeutlicht, dass ein zentraler Teil des W-Seminars die Vermittlung des naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses sein sollte und die Lehrkraft einen Weg finden muss, um die Schüler zu einer echten Fragestellung hinzuleiten. Für ersteres wurde das Modul „Forschen Lernen“ entwickelt, für die zweite Aufgabe wurden verschiedene Methoden-Werkzeuge konzipiert.

Modul „Forschen Lernen“

Im zweiten Abschnitt der Lehrerfortbildung übernahmen die Lehrkräfte die Rolle von Schülern und lernten dabei das Modul „Forschen Lernen“ als mögliches Methoden-Werkzeug für die Wissenschaftspropädeutik in Unterricht und W-Seminar kennen. Die Lehrkräfte erhielten eine Frage, deren Antwort nur den wenigsten bekannt war. Mit experimentellen Mitteln musste die Frage beantwortet werden. Parallel hierzu wurde immer wieder die Meta-Ebene eingenommen und der gerade erreichte Abschnitt des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges identifiziert. Ergebnis des Moduls kann für das W-Seminar ein Arbeitsblatt zur Planung der eigenen Seminararbeit sein.

Vorstellung der Methoden-Werkzeuge

Wenn den Schülern der naturwissenschaftliche Erkenntnisweg bewusstgemacht worden ist, können sie eine eigene Fragestellung formulieren und ihre experimentelle Planung angehen. Die Hinführung zu einer im gegebenen Rahmen realistisch beantwortbaren Fragestellung und eines für Schüler durchführbaren experimentellen Weges ist wohl die größte Herausforderung, vor die das W-Seminar Lehrkräfte und Schüler stellt. Eine mögliche Vorgehensweise hierbei stellt die Methode der *DIM's* dar.

Workshop „Planung eines W-Seminars“

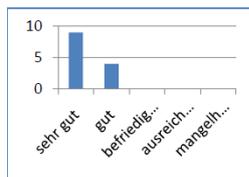
Als zusammenfassendes Ergebnis der Untersuchungen wurde ein Vorschlag eines modifizierten Ablaufplans für W-Seminare präsentiert. Mit ihm sollten die Lehrkräfte zum Abschluss der Fortbildung die Möglichkeit erhalten, ihr eigenes zukünftiges oder gerade laufendes W-Seminar mit den anderen Teilnehmern zu planen und zu diskutieren. Häufig wurde sich zunächst über mögliche Themen ausgetauscht, zum Teil wurden bereits konkrete Themenvorschläge diskutiert.

Rückmeldungen der Lehrkräfte

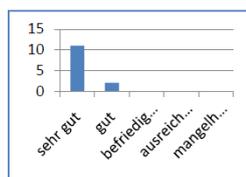
Die durchgeführten Lehrerfortbildungen wurden von den Lehrkräften durchweg sehr positiv aufgenommen, wie verschiedene Fragebögen der Veranstalter ergaben (Abbildung 27):

		Bemerkungen/Stichpunkte
Feedback überwiegend	positiv	sehr praxisnah, super vorbereitet, tolle Anregungen, nur Lob
	negativ	

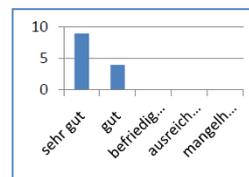
Praktisches Anwenden der Erkenntnisse



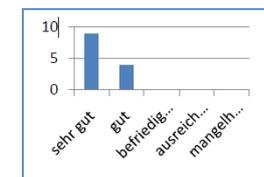
Diskussionsmöglichkeit



zur Verfügung gestellte Materialien



Rahmenbedingungen der VA



Allgemeine Fragen (Bewertung mit Schulnoten):

Bereich	Bewertung
Organisation der Veranstaltung	1,40
Schulbezug	1,30
Fachdidaktischer Gewinn	1,70
Fachwissenschaftlicher Gewinn	2,10
Experimenteller Gewinn	2,00
Verhältnis zwischen Theorie- und Praxisteil	1,70
Möglichkeiten zum Erfahrungsaustausch	1,30

Vortrag (Bewertung mit Schulnoten):

Bereich	Bewertung
Strukturierung	1,40
Verständlichkeit	1,30
Praxisbezug	1,70
Vortragsstil	1,50
Motivation und Engagement	1,40
Möglichkeit für Fragen und Anmerkungen	1,10
Gestaltung des Begleitmaterials	1,30

Praktikum (Bewertung mit Schulnoten):

Bereich	Bewertung
Schulische Integrierbarkeit der Inhalte	1,60
Verständlichkeit	1,20
Gestaltung der Versuchsvorschriften	1,40
Erfolgsquote bei der Durchführung der Versuche	1,70
Betreuung im Praktikum	1,70

Abbildung 27: Auszüge aus den Rückmeldebögen der RLFB Würzburg und des LFZ Nürnberg-Erlangen 2012

Wie wichtig sind Ihnen Fortbildungsveranstaltungen?	1,5 (sehr) wichtig
Wie schätzen Sie Ihre fachlichen Voraussetzungen für die Teilnahme ein?	2,3 Gut

Die Fragebogen-Statistiken zeigen auch, dass nicht nur junge Lehrkräfte, sondern auch Lehrkräfte mit über 20 Jahren Berufserfahrung an den Fortbildungen teilnahmen, die zum Beispiel als Fachbereichsleiter oder Seminarlehrer tätig sind. Im Gespräch wurde überraschend deutlich, dass selbst diese Lehrkräfte die Bedeutung des Problems *Thema versus Fragestellung* nicht erkannt und die NOS wenig reflektiert hatten. Auch viele andere Aspekte wie zum Beispiel die Organisation der Arbeit von 16 Schülern im Labor oder Möglichkeiten zur Bewertung der Schülerleistung wurden von der Mehrzahl der teilnehmenden Lehrkräfte nach eigener Aussage als Herausforderung angesehen. Als zentrales Problem stellten die teilnehmenden Lehrkräfte – entsprechend den empirischen Ergebnissen dieser Arbeit – die Hinführung der Schüler zur realisierbaren Fragestellung dar.

7.2. Ein wissenschaftspropädeutisches Methodenwerkzeug: Das Modul „Forschen Lernen mit Egg-Races“

Bevor das Modul „Forschen Lernen“ in die Lehrerfortbildung Eingang fand, wurde es im Rahmen von Ferienakademien mit Oberstufenschülern und mit Schülern eines W-Seminars an der Universität erprobt. Im Mittelpunkt steht dabei die Methode des so genannten *Egg-Racing*.

Die Methode des „Egg-Racing“

Die Begriffe „Egg Racing“ oder „Egg Race“ leiten sich von der populären BBC-Fernsehsendung „The Great Egg Race“ ab, die Mitte der 1970er Jahre entstand. Der dort initiierte Wettbewerb stellte die Aufgabe, eine Vorrichtung zu konstruieren, mit der sich ein frisches Ei mit der in einem kleinen Gummiband gespeicherten Energie so weit wie möglich transportieren lässt (BA, 1983). Aus diesem ursprünglichen *Eierrennen* sind inzwischen vielfältige naturwissenschaftliche, im Besonderen auch chemische orientierte Aufgabenstellungen für den Unterricht geworden (Gärtner & Borstel, 2003; Gärtner & Scharf, 2001). All diesen Egg-Races gemeinsam sind problemlösende Schüleraktivitäten mit einem motivationsfördernden Wettbewerbscharakter. Die aufgeworfenen Problemstellungen haben in der Regel einen lebensweltlichen Bezug, können aber auch rein chemische Fragen stellen. *Gewonnen* hat am Ende die Gruppe, die am schnellsten ein richtiges Ergebnis präsentieren kann, wobei – und das ist essentiell – der Lösungsweg reproduzierbar sein muss!

In der Didaktik der Chemie der Universität Würzburg wurden in den letzten Jahren Egg-Races vor allem bei Schülertagen eingesetzt (Geidel & Weirauch, 2013). Um den Schülern dabei möglichst große Freiheit bei dennoch sicherem Experimentieren zu gewähren, wurden diverse Egg-Races zu verschiedenen Themen entwickelt, die sich wie folgt umsetzen ließen: Jedes Egg-Race besteht aus einer laminierten Aufgabenstellung und gegebenenfalls zusätzlichen Abbildungen als Gesprächsanlass für die Betreuer. Mit diesen kann den Schülern bei Bedarf weitergeholfen werden. Die Aufgabenstellung wird mit verschiedensten Gegenständen und Chemikalien in eine Kiste gegeben. Dabei finden die Schüler sinnvolle, aber auch sinnlose Gerätschaften und Stoffe vor und müssen sich überlegen, wie sie mit den durch die Kiste vorgegebenen Mitteln die gestellte chemische Tüftelaufgabe lösen.

Über die Schülertage hinaus wurden einige der Egg-Races inzwischen auch im regulären Unterricht eingesetzt. Da die Inhalte und Schwierigkeitsgrade der einzelnen Aufgabenstellungen für mehrere Jahrgangsstufen ausgelegt sind, lassen sich der didaktische Ort, das thematische Einsatzgebiet und der individuelle Lehrplanbezug für den unterrichtlichen Einsatz sehr flexibel auswählen. Die Erfahrungen mit dieser Methode sind durchweg gut: Die Schüler sind mit großer Begeisterung dabei und können im Anschluss an das Experimentieren die Vorgehensweise beschreiben und im kritischen Diskurs verteidigen. Diese intensive Aneignung der Problemstellung führt

nach unseren ersten Beobachtungen zu einem größeren Interesse daran, auch die chemischen Hintergründe des Egg-Races zu verstehen (Weirauch & Geidel, 2014). Die Methode eignet sich auch für anspruchsvollere Fragestellungen aus der Sekundarstufe II. So muss zum Beispiel Zucker von anderen farblosen und kristallinen Feststoffen durch seine optische Aktivität unterschieden werden. Diese kann mit Hilfe zweier 3D-Kino-Brillen erreicht werden, indem man ein einfaches Polarimeter baut. In einem anderen Egg-Race muss aus mehreren farblosen Flüssigkeiten das Wasser durch chemische Methoden identifiziert werden. Hierzu stehen verschiedene Lösungsansätze offen: Entweder, man gewinnt aus der zur Verfügung gestellten Lösung wasserfreies CuSO_4 als Nachweis-Reagenz, führt Löslichkeits-Vergleiche mit Salatöl und Kochsalz durch oder nutzt MOED (1-Methyl-4-[(4-oxocyclohexy-2,5-dienyliden)-ethyliden]-1,4-dihydropyridin), einen solvatochromen Farbstoff, um das polare Wasser von den weniger polaren Flüssigkeiten zu unterscheiden. Ein weiteres Egg-Race stellt die Aufgabe, die Funktionsweise eines Wärmepflasters herauszufinden und ein solches nachzubauen. Diese Aufgabenstellung wurde für das Modul „Forschen Lernen“ herangezogen, da es vielfache experimentelle Zugänge bei gleichzeitig geringem Gefährdungspotenzial ermöglicht. Die dadurch ermöglichte Ergebnisoffenheit macht es besonders geeignet für diese wissenschaftspropädeutische Übung.

Das Egg-Race „Wärmepflaster“ und seine experimentelle Untersuchung

Seit Jahrzehnten nutzt die NATO die Oxidation von Eisenpulver in so genannten „Heatern“ (Hintergründe und Versuchsanleitung siehe Schwab, 2002). Inzwischen wird dieses Konzept in *Wärmepflastern* kommerziell genutzt. Pöhls und Busker haben die Redox-Prozesse im Inneren solcher Pflasters beschrieben (2013). Diese Pflaster eignen sich hervorragend für die Untersuchung durch Schüler, da ihre Hauptbestandteile Aktivkohle, Eisenpulver und Kochsalz ungefährlich sind und sich der Inhalt der Pflaster direkt für Experimente nutzen lässt.

Für das Egg-Race *Wärmepflaster*, wie es im Modul „Forschen Lernen“ eingesetzt wurde, erhielten die Schüler zunächst ein gebrauchtes Wärmepflaster und ein noch verpacktes neues auf einem Teller. Im Folgenden soll herausgefunden werden, wie diese Wärmepflaster funktionieren. Gewonnen hat die Gruppe, die die höchste Temperatur mit einem nachgebauten Wärmepflaster erreichen kann. Eventuell benötigte Materialien wie Schere etc. wurden erst auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Beim Aufschneiden der Kammern des gebrauchten Pflasters findet man eine braune poröse Substanz vor, die sehr an Rost erinnert. Teilweise vermuteten die Schüler, dass es sich dabei um Braunstein handle. Auf der Packung des Pflasters ist aber angegeben, dass es Eisenpulver enthält. Häufig kamen die Schüler deshalb auf die Idee, mit einem Magneten das alte und das neue Pflaster auf Eisen zu untersuchen. Diese Untersuchung ist allerdings wenig zielführend, da zum einen noch nicht abreagiertes Eisen auch im gebrauchten Wärmepflaster vorliegt, und zum anderen viele Eisenoxide ebenfalls magnetisch sind. Bei Öffnen des neuen Pflasters wird deutlich, dass erst nach

einiger Zeit eine exotherme Reaktion einsetzt. Es muss also durch das Öffnen ein Reaktionsedukt hinzugekommen sein, denn die Temperatur ist ja im geschlossenen Pflaster konstant. Die Schüler stellen schnell die Hypothese auf, dass eine Reaktion mit Luftsauerstoff abläuft. Da Braunstein keine solch exotherme Reaktion mit Luftsauerstoff eingeht, kann er als Bestandteil ausgeschlossen werden.

Als nächsten Schritt lösten Schüler wie Lehrkräfte in der Regel den Inhalt der Wärmepflasterkammern in Wasser. Viele Teilnehmer machten die Beobachtung, dass sich das Gemisch im Wärmepflaster stärker erhitze, als das Gemisch, wenn es außerhalb des Pflasters mit Wasser versetzt wurde. Schüler- wie Lehrergruppen stellten daher die Hypothese auf, dass der Aufbau des Pflasters die Reaktion beschleunige. Alternativ kann vermutet werden, dass das Wasser den Kontakt des Eisens mit der Luft verhindert. Eine Schülergruppe zerlegte das Pflaster und erhielt eine perforierte Kunststoffmembran, die mit einer Lupe gut auf Poren untersucht werden konnte. Die Schüler wollten herausfinden, um welche Folie es sich handelt. Sie stellten durch Vergleiche die Theorie auf, dass es der gleiche Kunststoff sei wie der, aus dem die Mülleimertüten gefertigt sind. Eine IR-spektroskopische Untersuchung beider Folien ergab zwei vergleichbare Spektren (Abbildung 28 und Abbildung 29). Damit liegt nahe, dass es sich in beiden Fällen um einen vergleichbaren Kunststoff handelt. Ein Blick auf die Verpackung der Mülleimertüte klassifizierte ihn als Polyethen. Die Schüler erklärten die höhere Wärmeentwicklung im Pflaster damit, dass die Folie durch die Löcher Sauerstoff hindurch lasse, die Wärme aber eine Zeit lang in der Kammer gehalten werde.

Eine weitere Beobachtung, die sich bei Versetzen des Pflasterinhalts mit Wasser ergab, war das Auftreten gelartiger Partikel. Die erste Ratlosigkeit der Betreuer an dieser Stelle erwirkte bei den Schülern einen besonderen Motivationsschub: Es wurde versucht, diese Masse im IR-Spektrometer weitergehend zu untersuchen, was allerdings daran scheiterte, dass sie sich als sehr flüchtig erwies, sobald man das Gel aus der Mischung entfernte. Außerdem ist durch die Quellung mit Wasser ein starker Wasserbauch im Spektrum zu erwarten, der die IR-Spektroskopie als Methode ausschloss. Weitere Untersuchungen zum Charakter dieser Partikel stehen somit noch aus, gegebenenfalls bieten sich Raman-Spektren an.

Eine Schülergruppe stellte die Hypothese auf, dass Schweiß die Reaktion des Wärmepflasters antreibe. Sie versetzten dem entsprechend den Inhalt des Wärmepflasters mit einigen Tropfen Salzlösung und verglichen die Temperaturentwicklung mit der bei der Reaktion mit einfachem Wasser. Bei Verwendung von zu viel Lösemittel war kein Unterschied zu erkennen, was die Notwendigkeit des Kontakts mit Sauerstoff belegt. Nur bei Zugabe sehr geringer Wasser- und Salzlösungs-Mengen war tatsächlich ein Temperaturunterschied zugunsten der Salzlösung nachweisbar.

Kunststoff Mülltüte

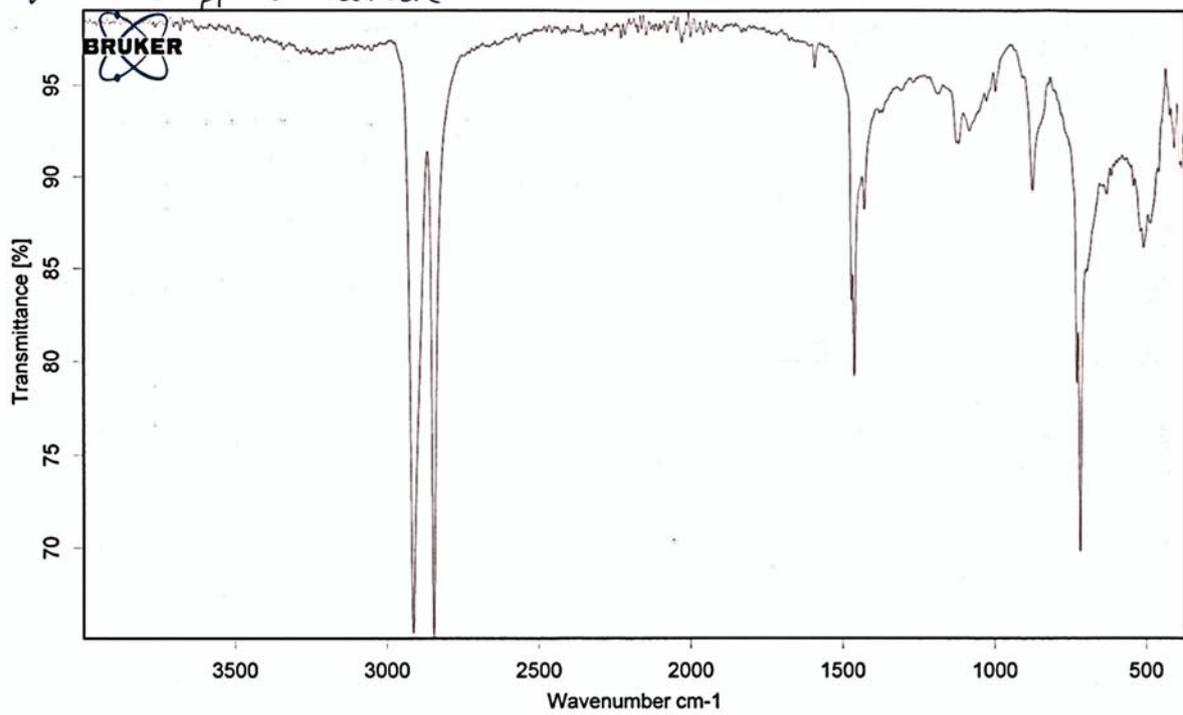


Abbildung 28: Original IR-Spektrum einer Mülltüte

Kunststoff aus Pflaster

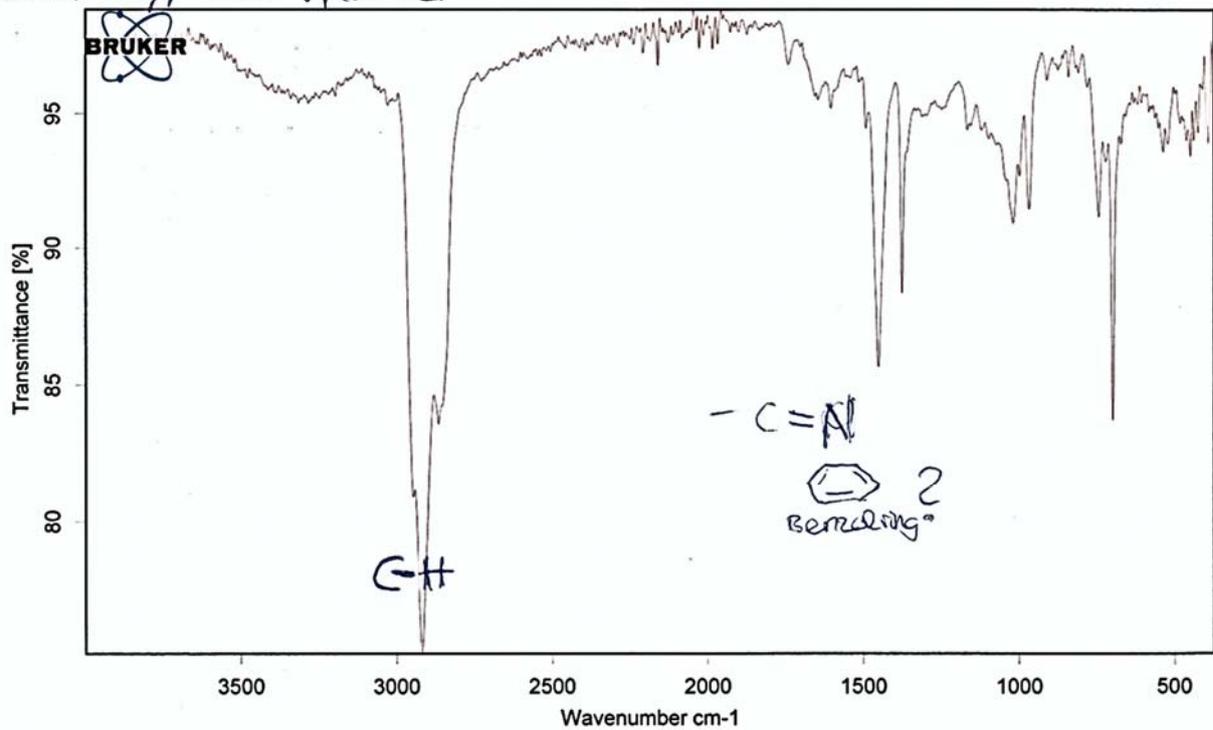


Abbildung 29: IR-Spektrum der Wärmepflaster-Folie (mit Zuordnungsversuchen der Schüler)

Zur Ermittlung weiterer Bestandteile des Pflasters kamen in der Regel Nachweisreaktionen zur Anwendung. Während Lehrkräfte schnell die notwendigen Reagenzien parat haben, mussten Schüler diese in der Literatur recherchieren. Eine Schülergruppe versuchte herauszufinden, ob das Eisenpulver zu Eisen-II- oder zu Eisen-III-Ionen oxidiert wird. Sie erhielten mit gelbem Blutlaugensalz Kaliumhexacyanidoferrat-II Berliner Blau, wohingegen der Nachweis von Fe-II-Ionen mit Kaliumhexacyanidoferrat-III als Turnbolls Blau negativ war. Viele Lehrkräfte versetzten das in Wasser gelöste Pulver mit Kaliumthiocyanat-Lösung und erhielten das rote Eisenrhodanid, womit das Vorhandensein von Fe-III-Ionen belegt wurde. Neben der Flammenfärbung, über die auch viele Schüler leicht Natrium nachweisen konnten, ergab die Überprüfung auf Halogenid-Ionen mit Silbernitrat die Anwesenheit von Chlorid-Ionen.

Die schwarze Farbe des Pulvers im unbenutzten Wärmepflaster bringt Schüler in der Regel schnell auf die Idee, dass Kohle ein Bestandteil des Gemisches sein könnte. Zwei Gruppen versuchten, die Aktivkohle durch Abbrennen nachzuweisen. Im Vergleich wurden der Inhalt des Pflasters und eine identische Menge Aktivkohle in einer Porzellanschale erhitzt. Abgesehen von einzelnen Funken war kein Effekt zu erkennen und die Schüler fragten sich auch, ob die Funken tatsächlich von der Kohle oder eventuell vom Eisenpulver stammten. Sie stellten ein Eisen-Aktivkohle-Gemisch her und verglichen dieses im Brenn-Verhalten mit dem Inhalt des Wärmepflasters. Das starke Erhitzen mit dem Bunsenbrenner brachte zum Erstaunen von Schülern und Betreuern auch die reine Aktivkohle nicht zum Glühen. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Aktivkohle durch Zugabe von zum Beispiel Silikaten oder anderen Überzügen inertisiert ist. Da ihre Eigenschaften und die daraus abgeleitete Verwendung aber vor allem auf ihrer großen Oberfläche und den Reaktionen daran beruht, ist es als unwahrscheinlich anzusehen, dass eine Inertisierung durch Beschichtung vorgenommen wurde. Warum brennt also Aktivkohle nicht? Die Hypothese, dass gebundene Luftfeuchtigkeit das Verbrennen verhindert, wurde durch Trocknen der Aktivkohle im Trockenschrank und nachfolgendes starkes Erhitzen überprüft und widerlegt. Schüler wie Betreuer stellten abschließend die Hypothese auf, dass die Partikel der Aktivkohle so klein sind, dass sie bei Erhitzen mit dem Bunsenbrenner sofort verglühen, weshalb kein Glimmen oder Brennen zu beobachten ist. Obwohl die verfolgte Frage auf den ersten Blick banal scheint, ist das Verfolgen eines solch eigenen Forschungsprozesses im Sinne einer Wissenschaftspropädeutik sehr wünschenswert – und zeigt auf, dass viele Alltagsphänomene nicht so banal sind, wie sie auf den ersten Blick vielleicht scheinen.

Alle Gruppen konnten am Ende ein Wärmepflaster zusammenstellen, indem sie Eisenpulver mit Aktivkohle mischten und in einen Gefrierbeutel gaben. Die Zugabe von Sauerstoff sowie etwas Wasser setzte die Reaktion in Gang, die Wärmeentwicklung wurde per Thermometer verfolgt. Gruppen, die das Kochsalz nicht als Bestandteil identifiziert hatten, erreichten geringere Temperaturen. Manche Schüler versuchten, durch starkes Durchmischen des Eisenpulvers mit der Aktivkohle im Mörser und dadurch bewirkter Oberflächenvergrößerung ein erfolgreicherer Gemisch herzustellen. Auch die Mengenangaben der Gruppen variierten natürlich. Vor allem

die Zugabe von zu viel Wasser konnte hinderlich sein. Die erfolgreichste Gruppe erreichte mit ihrem Gemisch eine Temperatur von erstaunlichen $T = 90\text{ °C}$!

Abschließend lässt sich feststellen, dass die beschriebenen vielfältigen experimentellen Ansätze die gute Eignung des Egg-Race *Wärmepflaster* für ein tatsächlich ergebnisoffenes experimentelles Arbeiten belegen. Damit bietet es sich besonders für die Erarbeitung des Naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges.

Ablauf des Moduls „Forschen lernen“

Das im Folgenden beschriebene Konzept des Moduls „Forschen lernen“ lässt sich – je nach Wahl des Egg-Races – im Unterricht von Unter- und Mittelstufe ebenso einsetzen, wie in der Oberstufe. Mit inzwischen neun achten Klassen wurde es zur Hinführung zum wissenschaftlichen Arbeiten im Rahmen von Virtual-Science-Fairs genutzt. Besonders eignet es sich aber, um mit einem W-Seminar die Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges zu erarbeiten. In der Lehrerfortbildung nahmen die Lehrkräfte die Position der Schüler ein und lernten so die didaktischen Besonderheiten des Konzeptes kennen.

Die Lehrkräfte erhielten, wie beschrieben, zum Einstieg ein gebrauchtes und ein neues Wärmepflaster und die Aufgabenstellung. Nur wenige Teilnehmer kannten die chemischen Hintergründe des Wärmepflasters, sodass sie auch in diesem Aspekt die Schülerposition nachvollziehen konnten. Nach einer ersten Erkundung wurde mit einem „Stopp“ innegehalten und die Lehrkräfte gebeten, ihrem bisherigen Tun eine Überschrift zu geben. Schnell kam der Begriff **Brainstorming** auf. Es wurde verdeutlicht, dass im Weiteren jeder Schritt des Tuns zu benennen ist, indem man innehält und die Meta-Ebene einnimmt. Auf diese Weise wird nach und nach der Naturwissenschaftliche Erkenntnisweg erarbeitet. Zur Visualisierung werden die *Überschriften* für das Tun an der Wand mit laminierten Karten fixiert, sodass am Ende der gesamte Weg zu sehen ist.

Den Schülern würde an dieser Stelle verdeutlicht, dass auch in den Arbeitskreisen der Forschungs-Institute Wissenschaftler, wenn ihnen eine neue Frage begegnet, zunächst auf diese Weise *brainstormen*. Die Frage nach dem nächsten Schritt führt schnell die Notwendigkeit der **Recherche** vor Augen. Hier werden mit den Schülern die Nachteile des Internets (Unzuverlässigkeit, mangelhafte Verfügbarkeit von tatsächlicher Fach-Information, etc.) thematisiert. Die Schüler erfahren, dass Fachleute in Artikeln in Fachmagazinen recherchieren, da dort das aktuellste Wissen zu finden ist. Den Schülern – und in der Lehrerfortbildung auch den Lehrkräften – wird dem entsprechend verschiedenste Literatur, aber kein Internet für die Recherche zur Verfügung gestellt. Nach einer Weile wird gefragt, welche Optionen dem Wissenschaftler offenstehen, wenn er bei seiner Recherche keine Antworten findet. Während Wissenschaftler sich an die entsprechenden Fachkollegen wenden, steht dem Schüler stellvertretend die Lehrkraft für Fragen zur Verfügung.

Auf die Recherche-Phase folgt die **Hypothesen-Bildung**. Älteren Schülern ist gelegentlich bewusst, dass Naturwissenschaftler Hypothesen aufstellen und experimentell überprüfen. Jüngere Schüler haben in der Regel keine Vorstellung davon, was eine Hypothese ist und sind der Meinung, Wahrheiten herausfinden zu können. Für beide Altersstufen hat sich an dieser Stelle ein **Ausflug in die Wissenschaftstheorie** bewährt, wobei es von der zur Verfügung stehenden Zeit abhängen wird, ob dies im Unterricht möglich ist. Bei einem W-Seminar, in dem der Erwerb eines korrekten epistemischen Verständnisses im Vordergrund steht, sollte dieser Exkurs möglichst erfolgen. An der Universität Würzburg wurde hierzu ein Impulsreferat mit nachfolgender Diskussion genutzt. Die dazugehörige PowerPoint-Präsentation wird den Lehrkräften in der Fortbildung kurz vorgestellt, da sich gezeigt hat, dass beim Thema NOS viele Lehrkräfte Schwierigkeiten mit der didaktischen Reduktion haben. Die Präsentation nutzt Karl Poppers Bild von den weißen Schwänen zur Illustration des Induktionsproblems: Die ausreichend häufige Beobachtung, dass Schwäne weiß sind, berechtigt nach dem Induktivismus zu der verallgemeinernden Schlussfolgerung, dass alle Schwäne weiß seien. Nach Poppers kritischem Rationalismus ist eine solche Schlussfolgerung aber logisch nicht zulässig (Precht & Burkard, 2008). Den Schülern ist – unter starker Vereinfachung und Verkürzung von Poppers Theorie – leicht plausibel zu machen, dass die Behauptung „Alle Schwäne sind weiß“ nur bewiesen werden kann, wenn alle Schwäne der Welt mit Sicherheit überprüft werden könnten. Realistisch ist dies nicht möglich. Es gibt aber eine sehr einfache Möglichkeit, wie festgestellt werden kann, ob die Aussage wahr ist oder nicht. Die Schüler kommen sehr schnell darauf, dass ein einzelner schwarzer Schwan die Hypothese eindeutig widerlegt.

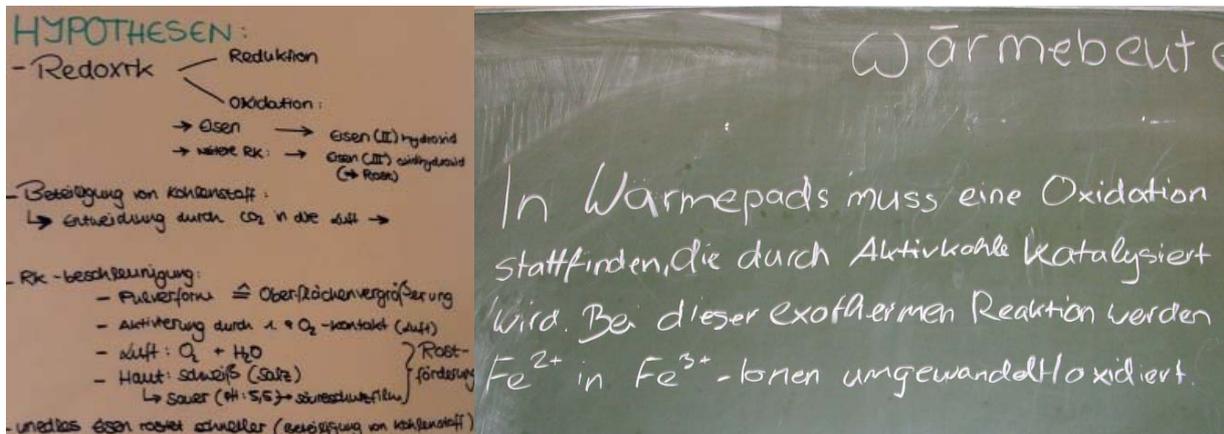


Abbildung 30: Hypothesen der Schüler

Mit diesem Beispiel lässt sich den Schülern einerseits verdeutlichen, dass Naturwissenschaften keine Wahrheiten herausfinden können. Sie können nicht *beweisen*, denn man kann nicht sicher sein, dass unsere Wahrnehmung bzw. unsere Messungen tatsächlich die *Wahrheit* abbilden. Daten können nie mehr sein, als ein Abbild einer angenommenen Wahrheit und damit bleiben Rückschlüsse aufgrund von Daten immer auch subjektiv. Naturwissenschaftliche Daten können also nie einem absoluten Wahrheitsanspruch genügen. Naturwissenschaftler können aber eindeutig

widerlegen! Negative Ergebnisse sind demnach in den Naturwissenschaften oft wertvoller, weil eindeutiger als positive Befunde – eine Erkenntnis, die angesichts der nicht immer erfolgreichen Experimente in den W-Seminaren für die Motivation der Schüler beim Forschen sehr wichtig werden kann! Auch positive Befunden können erst nach vielfacher Bestätigung nach und nach zur Theorie werden, deren Gültigkeit durch den Diskurs in der Scientific Community erlangt wird. Diese *Wahrheit* gilt dann so lange, bis sie durch neue Befunde widerlegt wird.

Die Schülergruppen werden nun angehalten, konkrete Hypothesen zur Funktionsweise ihres Wärmepflasters zu formulieren. Die Hypothesen der Gruppen werden nebeneinander an der Tafel fixiert (Abbildung 30). Auch die Lehrkräfte vollzogen diesen Schritt, wobei darüber diskutiert wurde, wie eine Hypothese zu formulieren sei. Als nächster Schritt steht die **experimentelle Überprüfung** der Hypothesen an. Es wird deutlich, dass auch hierzu Recherchen und das Erproben von Methoden notwendig sind. Wieder wird die Gelegenheit genutzt, darauf hinzuweisen, dass dies auch in der Forschung ein üblicher Schritt ist: Die Forscher müssen zunächst die Analysemethode oder ein Syntheseverfahren erlernen, bevor sie das eigentliche Experiment durchführen können. Gelegentlich müssen sogar neue Verfahren entwickelt und getestet werden. Wieder werden die neu benannten Schritte des Naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses an der Wand ergänzt, bevor die Schüler, bzw. die Lehrkräfte sich der Laborarbeit zuwenden. Für diese Arbeit im Labor werden die Schüler aufgefordert, ihre Tätigkeiten schriftlich zu dokumentieren. Die Lehrkräfte protokollierten ihre Befunde nicht, führten aber in der oben beschriebenen Weise verschiedene Experimente durch, um die Zusammensetzung der Wärmepflaster herauszufinden, und stellten schließlich eigene Wärmepflaster her.

Die Ergebnisoffenheit der Fragestellung bedingt natürlich ein wenig berechenbares Vorgehen der Experimentierenden. Es ist nur bedingt vorauszusehen, auf welche Ideen und Lösungsansätze die Schüler kommen (die Ideen der Lehrkräfte sind interessanter Weise besser voraussagbar). Somit ist eine im Sinne einer chemischen Lernwerkstatt gestaltete und vorbereitete Labor-Lernumgebung für diesen experimentellen Teil wünschenswert. Da weder in der Schule noch während der hier beschriebenen Lehrer-Fortbildungen apparative Analysemethoden wie ein IR-Spektrometer zur Verfügung standen, können laminierte IR-Spektren vorbereitet und bei Bedarf den Forschenden zur Verfügung gestellt werden (Vorlage im LFB-Skriptum). Erfahrungsgemäß tauchen aber bei jeder neuen Durchführung des Konzeptes „Forschen Lernen“ neue Ideen und damit auch neue Erkenntnisse auf.

In der Regel führt das erste Experiment bei Schülern wie bei Lehrkräften zur nächsten Frage und damit zum nächsten Experiment. Die im Naturwissenschaftlichen Erkenntnisweg übliche Phase der **Revision der Hypothese** bzw. der Entwicklung des passenden Experimentes über Vorversuche wird damit ebenfalls offensichtlich und thematisiert. Nach erfolgreicher Herstellung der eigenen Wärmepads folgt die Rückkehr in den Lehrsaal. Die Schüler würden an dieser Stelle angehalten, mit Hilfe von Protokollen ihre Experimente zu **dokumentieren**. Im Anschluss **präsentieren** die einzelnen Gruppen ihre Ergebnisse der anwesenden **Scientific Community** und

reflektieren ihre Hypothese unter dem Gesichtspunkt ihrer Befunde. Da es im Labor stets dazu kommt, dass eine Gruppe die Tätigkeit der anderen miterlebt, kann hier auch das Problem des Urheberrechts, wie es in den Naturwissenschaften häufig vorkommt, angesprochen werden.

Mit den Lehrkräften wurden diese abschließenden Schritte des Moduls lediglich angerissen und das Thema *Leistungserhebung* angesprochen. Sowohl das Laborprotokoll als auch die Präsentation in Gruppen eignen sich, um eine Note zu gewinnen. Abschließend wurde in Lehrerfortbildung ebenso wie im Unterricht der Naturwissenschaftliche Erkenntnisprozess (Abbildung 31) noch einmal als Ganzes betrachtet.



Abbildung 31: Visualisierung des Naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses

Für W-Seminare kann aus dieser Rekapitulation mit Hilfe des **Arbeitsblattes** (LFB-Skript) direkt zur Planung des individuellen Forschungsvorhabens übergegangen werden. Den Schülern sind die Schritte des naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges damit bekannt und sie haben einen Ablaufplan zur Hand, an dem sie sich bei der selbstständigen und experimentellen Beantwortung ihrer Fragestellung orientieren können.

Erfahrungen mit der Durchführung des Moduls

Das *Modul Forschen lernen* wurde – abgesehen von den Lehrerfortbildungen – im Rahmen zweier Ferienakademien und eines Workshops mit Oberstufen-Schülern erprobt. Dabei kam das Egg-Race Wärmepflaster zum Einsatz. Durchweg hatten Lehrkräfte wie Schüler große Freude am Tüfteln. Als besonders spannend erwiesen sich stets die Fälle, in denen die Betreuer die Fragen auch nicht beantworten konnten, sondern experimentell eine Antwort gefunden werden musste. Dies ist ein weiterer Hinweis auf die motivierende Wirkung einer ergebnisoffenen, *echten* Fragestellung.

7.3. Weitere Methodenwerkzeuge für W-Seminare und ein alternativer Ablaufplan

Als Ergebnis des Moduls haben die Schüler einen Ablaufplan für ihr Vorgehen entlang des Naturwissenschaftlichen Erkenntnisweges an der Hand. Nun gilt es, innerhalb des Rahmenthemas eine individuelle Fragestellung zu finden und Möglichkeiten zur experimentellen Überprüfung auszuloten. Diese Forderung kann nur sehr bedingt durch die Schüler selbst erfüllt werden! An dieser Stelle ist eine enge Führung durch die Lehrkraft unabdingbar. Wie diese gestaltet werden kann und wie das W-Seminar unter Berücksichtigung der bereits beschriebenen Methodenwerkzeuge insgesamt ablaufen kann, war Thema des dritten Teils der Lehrerfortbildung und soll im Folgenden umrissen werden.

Vorlesung

Das W-Seminar wird, wie vom ISB vorgesehen, mit einem fachlichen Input begonnen. Im Gegensatz zur häufig dokumentierten Vorgehensweise von benoteten Schüler-Referaten wird eine wesentlich zeitsparendere Vorlesungs-Variante gewählt, um Raum für die Wissenschaftspropädeutik zu gewinnen. Dabei fließt die Erkenntnis vieler Lehrkräfte ein, dass die Seminarthemen so unterschiedlich sind, dass die Schüler das Meiste des anfänglichen fachlichen Inputs nicht benötigen. Deshalb wird mit einer Vorlesung im universitären Stil begonnen. In Anlehnung an ein Konzept von C. Willuweit (2010) wird dabei von der Lehrkraft ein 45minütiger Vortrag gehalten. Die Schüler werden vorher darauf hingewiesen, dass sie zu dem Inhalt dieses Vortrages in der Folgestunde schriftlich befragt werden. Sie haben im Anschluss an den Vortrag – analog zum universitären Vorgehen – die Gelegenheit, Fragen an den *Dozenten* zu stellen. In der zweiten Hälfte der Doppelstunde können sie ihre Mitschrift in frei gewählter Sozialform und mit zur Verfügung gestellter Literatur überarbeiten. Abschließend gibt die Lehrkraft detailliert an, welche Themenbereiche in der Stegreifaufgabe abgefragt werden. Auf diese Weise wird verhindert, dass sehr fleißige und ehrgeizige Schüler verunsichert werden und andererseits klare Erwartungen an alle formuliert. Die Folgestunde wird für die Stegreifaufgabe bzw. Kurzarbeit genutzt. Für ein W-Seminar mit dem Rahmenthema *Lebensmittelinhaltsstoffe* wird die Vorlesung der Lehrkraft neben der Wiederholung der wichtigen Nährstoffe Eiweiße, Fette und Kohlenhydrate zum Beispiel auch Konservierungsmittel, Farbstoffe und Geschmacksstoffe behandeln.

In der nachfolgenden Stunde wird wie beschrieben mit dem **Modul „Forschen lernen“** der Naturwissenschaftliche Erkenntnisweg erarbeitet, womit die Schüler einen Ablaufplan für ihre individuelle Arbeit an der Hand haben.

Die Hinführung zur Forschungsfrage mit DIMs

Themen-Vorschläge

Schülern fällt es in der Regel sehr schwer, überhaupt zu formulieren, welches Thema sie interessieren würde. Sie können zudem selten abschätzen, welcher Arbeitsumfang zu erwarten ist und formulieren daher häufig Fragen, deren Beantwortung eine Dissertation erfordern würde. Hier ist es hilfreich, den Schülern zunächst einige Beispiele für Themenbereiche innerhalb des Rahmenthemas vorzustellen und dann eine Liste von Themen an die Hand zu geben. In der Regel haben sich die Lehrkräfte vor Festlegung auf ein Seminarthema solche Unterthemen bereits überlegt. Auch die bereits genannten Zulassungsarbeiten können hier hilfreiche Ideen liefern. Formal schlägt die Autorin ein gemeinsames Erkunden bereits bestehender Seminararbeiten mit offenem Gespräch über Umfang und Gütekriterien sowie mögliche Themenfelder für das eigene W-Seminar vor (ISB, 2007, S. 22). Für das genannte Beispiel eines W-Seminars *Lebensmittelanalytik* würde die Lehrkraft vielleicht Themenfelder wie *Überprüfung der Gehalt-Angaben eines Lebensmittels* oder *Vergleich eines Bioproduktes mit einem gängigen Nahrungsmittel im Hinblick auf bestimmte Inhaltsstoffe* angeben.

Web-Quest und DIMs

Im Anschluss an diese Orientierung nutzt das W-Seminar den Computerraum. Wenn es darum geht, in kurzer Zeit einen großen Überblick über viele Aspekte zu gewinnen, ist das Internet sicher das Medium der Wahl. Im Sinne eines Web-Quests wird den Schülern vorgegeben, dass sie zu möglichen Aspekten des Rahmenthemas recherchieren sollen. Dabei kann bereits eine Einführung in den Umgang mit verschiedenen Suchmaschinen oder die Formulierung von Suchbegriffen erfolgen. Im Gegensatz zum *klassischen* Web-Quest können zwar bestimmte Adressen vorgeschlagen werden, die Schüler sollten aber nicht nur auf diese festgelegt werden. Wichtig ist an dieser Stelle, den Schülern sofort das Notieren der Internetadresse für eine eventuelle spätere Verwendung oder ein Wiederauffinden der Information beizubringen – inklusive Zeitangabe des Abrufs.

Als Zielvorgabe erhalten die Schüler den Auftrag, ***Das-Interessiert-Mich's*** – kurz: DIMs – zu finden. Jeder Schüler muss am Ende der Recherche eine Karteikarte abgeben, auf dem mindestens ein, maximal drei DIMs stehen. Als Hausaufgabe sollen die Schüler mit weiteren Medien über das Internet hinaus zu diesen DIMs recherchieren. Idealerweise folgt hierauf ein Besuch in einer Universitätsbibliothek. Die Schüler müssen in einem vom Lehrer vorgegebenen Zeitrahmen durch ihre Recherche nach möglichen **experimentellen Ansätzen** in diesen Themenbereichen suchen. Die Entscheidung darüber, was realistisch möglich ist, kann nur mit Hilfe der Lehrkraft erfolgen. In manchen Fällen muss erfahrungsgemäß darüber hinaus bei externen Fachkräften angefragt werden.

Einzelgespräche

Die letzte Entscheidung für einen experimentellen Ansatz und die darauffolgende **Wandlung des ausgesuchten Themas in eine realistische Fragestellung** erfolgt im individuellen Gespräch mit der Lehrkraft. Die Schüler werden dringend dazu angehalten, sich auf diese Gespräche vorzubereiten. Es werden Einzeltermine vereinbart, für die jeweils mindestens eine halbe Stunde vorgesehen werden sollte. Im Diskurs versuchen Lehrkraft und Schüler, das experimentelle Vorgehen festzulegen und die Formulierung der Fragestellung zu erreichen. Nach Erfahrungen der Lehrkräfte sind hierzu in manchen Fällen mehrere Termine notwendig, weil auch die Lehrkraft Zusatzinformationen einholen muss. So wird nicht immer gleich ein eindeutiger Weg festlegbar sein. Nach Aussagen der Lehrkräfte betrifft dies meist nur einzelne der Seminaristen. An dieser Stelle des Seminars ist also besonders das spezifische Beratungswissen der Lehrkraft gefordert. Im Anschluss an die Formulierung der Forschungsfrage kann der Laborteil beginnen.

Organisation der Laborarbeit

Eine Lehrkraft kann unmöglich 16 Schüler mit verschiedenen Experimenten gleichzeitig beaufsichtigen. Wie die Lehrkräfte wiederholt beschrieben haben, kommen die Schüler mit sehr verschiedenen praktischen und fachlichen Vorkenntnissen in das W-Seminar. Zunächst muss es also darum gehen, den Schülern einen Überblick über die Sammlung und die grundlegenden Labortechniken zu geben. Hierzu wird folgende Methode vorgeschlagen:

Labor-Schnitzeljagd

In einer Doppelstunde des W-Seminars wird eine Laborschnitzeljagd veranstaltet. Die Schüler teilen sich nach der Vorgabe in Gruppen so ein, dass stets mindestens ein unerfahrener Schüler mit einem experimentell erfahreneren Schüler kombiniert ist. Sollte es hier Schwierigkeiten geben, empfiehlt es sich, dass die Lehrkraft nach den Schulzweigen, aus denen die Schüler kommen, die Einteilung vornimmt.

Die Schnitzeljagd besteht aus verschiedenen Aufgaben, für die die Schüler Geräte finden, nutzen und dann auch wieder verräumen müssen. So kann beispielsweise das Abmessen von genau 26 ml Wasser in ein Gefäß mit Hilfe einer Maßpipette und eines Peleusballs gefordert werden, es muss eine Destille oder eine Bürette aufgebaut und sauber befüllt werden oder es müssen drei verschiedene, beschriftete Lösungen fachgerecht entsorgt werden, bestimmte Chemikalien müssen im richtigen Schrank gesucht werden, etc. Am Ende gewinnt die Gruppe, die alle Zwischenergebnisse am erfolgreichsten und schnellsten von der Lehrkraft hat abnehmen lassen. Natürlich geht auch die Einhaltung wichtiger Regeln wie dem Verbot von Rennen, dem beliebigen Wegschütten in den Ausguss, das Vergessen der Laborbrille oder ein nicht aufgeräumter Platz in die Bewertung mit abgezogenen Punkten ein! Diese

Schnitzeljagd macht Spaß, schweißt die Gruppe zusammen und erbringt den notwendigen Überblick über die Sammlung.

Labortage

Nach Aussagen der Lehrkräfte ist die Betreuung von maximal fünf, besser aber drei oder vier Schülern gleichzeitig im Labor möglich. Dem entsprechend bietet die Lehrkraft über einen längeren Zeitraum des Halbjahrs 11.2 hinweg Termine für so genannte Labortage an. Im Idealfall sollten an diesen Tagen mehr als zwei Schulstunden zur Verfügung stehen. Manche der Befragten nutzten hierfür die Freitag Nachmittage, andere mehrere Samstage. In den meisten Fällen kamen die Seminare aber mit einer Verlängerung der üblichen W-Seminar-Termine aus.

Den Schülern werden die zur Verfügung stehenden Termine zunächst bekannt gegeben. Sie tragen sich für maximal zwei Termine ein, zu denen sie vorbereitet kommen müssen (s. u.). Andere Termine werden von der Lehrkraft zunächst nicht angeboten und es wird darauf hingewiesen, dass innerhalb dieser Zeit die Experimente für die Seminararbeiten durchgeführt werden müssen.

Laborbuch und Kolloquium

Im Hinblick auf die Sicherheit, die von der Lehrkraft zu gewährleisten ist, ist es empfehlenswert, dass die Schüler eine Gefährdungsbeurteilung ihres Versuches durchführen und eine Betriebsanweisung erstellen. Diese sind neben einer genauen Versuchsbeschreibung der Lehrkraft schriftlich im Vorfeld des Labortages abzugeben und können benotet werden. Bewährt hat es sich, die Schüler vor Betreten des Labors einem Kolloquium zu unterziehen, bei dem sie belegen müssen, dass sie nicht nur wissen, was sie tun wollen, sondern auch wie sie vorzugehen planen. Auch hier ergibt sich die Möglichkeit zu einer weiteren Bewertung – abgesehen von der rechtlichen Absicherung der Lehrkraft. Den Schülern sollte mitgeteilt werden, dass sie bei nicht-Bestehen des Kolloquiums den Labortag nicht antreten dürfen – womit ihnen einer der wertvollen Termine wegfällt! Auf diese Weise wird eine Situation erzeugt, die hoffentlich zur erfolgreichen Vorbereitung der Schüler führt. Natürlich wird kein Lehrer einem engagierten Schüler einen weiteren Labortermin verweigern, es hat sich aber erwiesen, dass die Zeit letztlich sehr knapp bemessen und es daher sinnvoll ist, gleich zu Beginn für eine stringente Vorgehensweise zu sorgen. Von der schriftlichen Vorbereitung profitieren die Schüler insofern, als sie hiermit bereits einen wichtigen Teil ihrer Arbeit verfasst haben.

Tutoren-System

Als hilfreich hat sich erwiesen, im Labor unerfahrenen Schülern Tutoren zur Seite zu stellen, die experimentell erfahrener waren. Häufig melden sich zum Beispiel Schüler, die schon mit *Jugend forscht* oder über das BCP-Praktikum Erfahrungen mit naturwissenschaftlichem Arbeiten gewonnen haben, auch in einem naturwissenschaftlichen W-Seminar an. Stehen diese als Ansprechpartner für ihre Mitschüler zur Verfügung, so können die Lehrkräfte sich stärker auf die Hilfe bei anderen Problemen konzentrieren.

Geschickte Planung der Seminararbeiten

Der Lehrkraft stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung, um die Laborarbeit innerhalb des W-Seminars bewältigbar zu machen: Zum einen ist es hilfreich, wenn das Rahmenthema des Seminars einen starken Alltagsbezug hat. Teile der Experimente lassen sich dann von den Schülern gefahrlos zuhause durchführen und eine Arbeit im Labor ist nur zum Teil notwendig. Beispiele hierfür wären die Extraktion verschiedener Farbstoffe aus Pflanzen zum Färben von Stoffen. Eine andere Seminararbeit untersuchte, welche Bedingungen am besten geeignet sind, um Brötchen knusprig zu halten, aber nicht trocken werden zu lassen. Hierfür entwickelte der Schüler eine eigene Apparatur zur Messung der Elastizität des Brötchens und dokumentierte diese mit Fotos. Eine solche Dokumentation per Foto und per Laborbuch ist zu empfehlen, um sicherzustellen, dass die Schüler die Arbeit selbst bewältigt haben. Weiterhin hilft es, sich bewusst zu machen, dass man chemische Fragestellungen nicht zwingend mit Laborexperimenten beantworten muss. Gerade für Schüler aus anderen als dem naturwissenschaftlichen Zweig sind Themen interessant, die zum Beispiel mit Hilfe von Umfragen, Interviews, Zählungen oder mit anderen statistischen Methoden beantwortet werden können. So könnte man im Rahmen einer Seminararbeit die Verwendung von Zusatzmitteln in fränkischen Weinen über die Befragung von Winzern der Region ermitteln. Betz (2013) schlägt vor, die Daten von Abgas-Messungen eines Schornsteinfegers an Heizungen zu verwenden. Schließlich sind auch fächerübergreifende Arbeiten denkbar: Volkamer (2014) diskutiert unter dem Rahmenthema *Chemie treibt's bunt* Möglichkeiten, mit Kollegen aus dem Fach Kunst oder Physik zusammen zu arbeiten.

Präsentations-Werkzeuge

Schriftliches

Mit dem oben beschriebenen Laborbuch, in dem im Sinne eines Portfolios auch die Dokumentation der Laborarbeit erfolgen sollte, beginnt die schriftliche Präsentation der Seminararbeit. Hier berichten die Lehrkräfte, dass viele Schüler zwar das mündliche Präsentieren in Referaten gewöhnt sind, ihnen die systematische Verschriftlichung ihrer Tätigkeiten aber auch in der Oberstufe noch schwerfällt. Alle befragten Lehrkräfte führten die Schüler an einem gesonderten Termin in die geforderten Formalien für das Verfassen der Seminararbeit ein. Dennoch beklagten sie in vielen Fällen, dass die Schüler diese nicht einhielten, da die Vorgaben wieder in Vergessenheit gerieten. Der Termin für eine solche Einweisung sollte also nicht zu früh gewählt werden. Die Lehrkräfte kritisierten oft, dass zwar Vorverständnis und Durchführung des experimentellen Ansatzes ausführlich dargestellt wurden, die eigentliche Auswertung und Interpretation der Daten aber viel zu kurz kam. Angesichts der nur 10-15 Seiten, die für die Seminararbeit vorgesehen sind, ist deshalb eine sehr konzentrierte und systematische Präsentation im Rahmen der schriftlichen Arbeit wünschenswert und deren Anbahnung schon im Prozess sinnvoll.

Digitales

Als ein Kernproblem beschreiben die Lehrkräfte immer wieder die mangelnden Kenntnisse der Schüler in der Verwendung verschiedener Textverarbeitungsprogramme. Den Einsatz von Tabulatoren, das Einfügen von Bildern und Tabellen, die Nutzung von Standard-Formatierungen oder automatischen Inhalts- oder Literaturverzeichnissen wird von den Schülern trotz Informatikunterricht nicht beherrscht. Somit ist zu empfehlen, eine Doppelstunde im Computerraum diesen Themen zu widmen. Eventuell kann hier ein Kollege aus der Informatik zu Rate gezogen werden. Auch ein Tutorensystem, bei dem die Schüler sich gegenseitig für Fragen zur Verfügung stehen, kann angedacht werden. Diese Unterrichtseinheit sollte erfahrungsgemäß erst dann erfolgen, wenn die Schüler sich tatsächlich ans Schreiben machen.

Mündliche Präsentation

Nach Abgabe der Seminararbeit Anfang November ist eine mündliche Präsentation der Arbeit vorgesehen, und zwar ohne Rückmeldung über die abgegebene schriftliche Leistung. „Die Lehrerkonferenz kann zu Anforderungen und Dauer der Präsentation schuleinheitliche Festlegungen treffen“ (ISB, 2007, S. 25). „Die Seminararbeit und die Abschlusspräsentation, die während des Ausbildungsabschnitts 12/1 erbracht werden, werden nicht als Halbjahresleistung, sondern als eigenständige Leistung im Abiturzeugnis ausgewiesen“ (ebd., S. 19). An manchen Schulen haben sich inzwischen Präsentations-Abende entwickelt, an denen Publikum eingeladen und die Arbeiten vor diesem vorgestellt werden – ein im Sinne des Echtheitscharakters begrüßenswertes Modell. Andere Varianten sind die Präsentation vor dem ganzen Jahrgang oder auch nur im kleinen Kreis innerhalb des Seminars.

Zwischen-Präsentationen

In der Regel haben die Schüler aus den vorangegangenen Jahrgangsstufen einige Erfahrung im Halten von Referaten und können mit Präsentationsprogrammen umgehen. Im Hinblick auf die Abschluss-Präsentation scheint es dennoch sinnvoll, das Präsentieren der eigenen Ergebnisse zu üben. Hierfür haben sich Zwischen-Präsentationen bewährt. Entsprechend der in forschenden Arbeitskreisen üblichen Präsentationen erläutern die Schüler den Stand ihres Forschungsprojektes im Seminar und haben dabei die Gelegenheit, bei Problemen hilfreiche Rückmeldungen aus der Gruppe zu bekommen.

7.4. Ein neuer Ablaufplan für W-Seminare im Fach Chemie

Entschließt man sich zur Nutzung der oben vorgeschlagenen Methodenwerkzeuge, so ergibt sich für das W-Seminar ein im Vergleich zum Vorschlag des ISB (Brosig & Thaler, 2013; ISB, 2007) anders gewichteter Ablaufplan. Die fachliche Input-Phase wird sehr gekürzt und der Wissenschaftspropädeutik sowie arbeitsorganisatorischen Kompetenzen ein deutlich größerer Zeitrahmen eingeräumt. Die dabei eingesetzte Vielfalt der Unterrichtsverfahren und Möglichkeiten der Benotung entspricht hingegen völlig den Forderungen des ISB und des Kultusministeriums. Die folgende Übersicht (Abbildung 32) fasst diesen Ablauf zusammen:

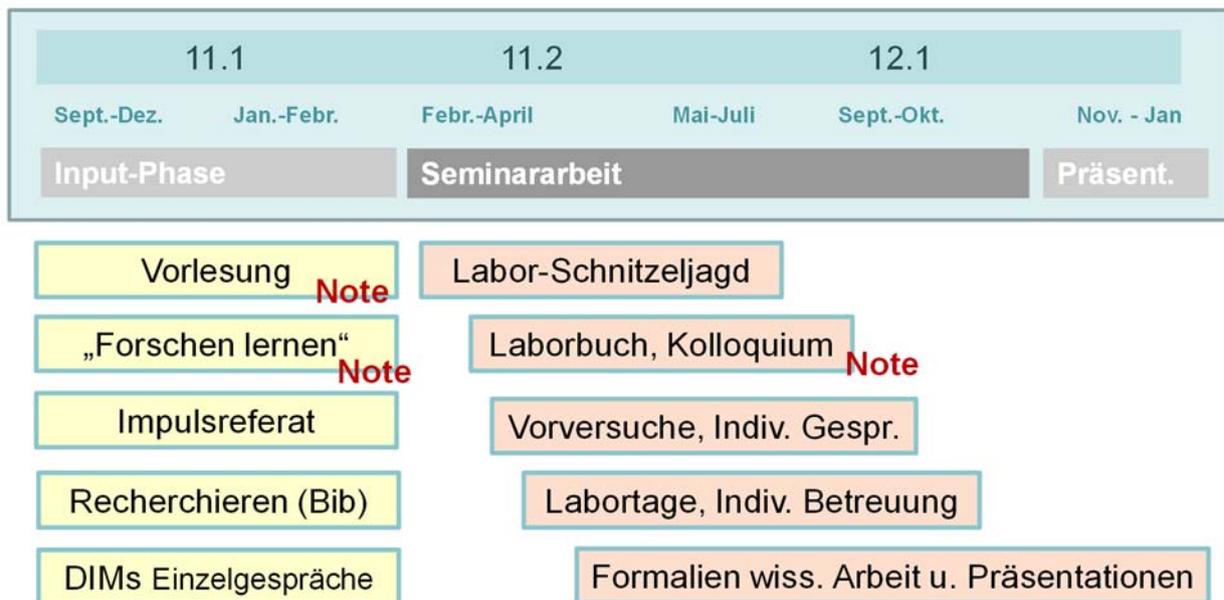


Abbildung 32: Modifizierter Ablauf eines W-Seminars

Im Schema nicht aufgezeigt sind eventuelle Exkursionen. Viele W-Seminare besuchen zu ihrem Rahmenthema passende Betriebe, Labore oder Ausstellungen. Wie erste Zahlen des ISB zeigen (siehe Kap.3.2), arbeiten viele W-Seminare auch mit Hochschulen zusammen. Die Didaktik der Chemie der Universität Würzburg bietet, wie beschrieben, verschiedenste Lehr-Lern-Labore (LLL) an. Speziell für W-Seminare wurde ein LLL zur Analytik entwickelt.

8. Das LLL „Analyseverfahren der Chemie“

Klassische Forschungsansätze in der Chemie streben oft entweder die Synthese bestimmter Substanzen oder die Analyse vorhandener Stoffe an. Dem entsprechend finden sich unter den W-Seminararbeiten viele, die Stoffe aus dem Alltag mit chemischen Methoden analysieren wollen. Im Folgenden wird zunächst die Bedeutung der Analytik im Gymnasium reflektiert, und dann das Lehr-Lern-Labor (LLL) mit den dazugehörigen fachlichen Inhalten und didaktischen Erwägungen vorgestellt.

8.1. Analytik im Gymnasium

In der bayerischen gymnasialen Oberstufe sieht der aktuelle Lehrplan nur an wenigen Stellen Themen aus der Analytik vor: Im Einstiegsunterricht ergibt sich nach der Besprechung verschiedener Typen von Gemischen die Frage, wie diese Gemische getrennt werden können. Zu den angesprochenen Trennverfahren gehören Alltagsprozesse wie z. B. Sieben, Sortieren, Magnetscheiden und Dekantieren. Als einziges Trennverfahren, das im Labor eine Rolle spielt, wird die Chromatographie angesprochen – meist in Form der Papierchromatographie. Als einfache Nachweisreaktionen werden die Glimmspanprobe und die Knallgasprobe bereits bei der Besprechung der Analyse des Wassers in Klasse acht eingeführt. Ausdrücklich vorgesehen sind sie erst in Klasse neun im einzigen explizit der Analytik gewidmeten Kapitel „9.1 Qualitative Analysemethoden“. Der Lehrplan gibt als Ziele der Beschäftigung mit chemischen Nachweisreaktionen vor, dass die Schüler einen Einblick in die Methodik der analytischen Chemie erhalten sollen (Gymnasial-Lehrplan Chemie, ISB). Im anschließenden Kapitel zu Quantitativen Aspekten chemischer Reaktionen ist bei der Besprechung der Atommasse die prinzipielle Behandlung der Massenspektrometrie vorgesehen. Neben dem Nachweis von Wasserstoff und Sauerstoff wird noch der von Kohlenstoffdioxid mit Kalkwasser gelehrt. Ausdrücklich erwähnt im Lehrplan sind Ionennachweise, Flammenfärbung und Spektralanalyse. Spätestens im Zusammenhang mit dem Thema Salze lernen die Schüler in der Regel auch nasschemische Ionennachweise kennen, zum Beispiel den von Halogenid-Ionen durch Fällung mit Silbernitrat. Ausdrücklich fordert der Lehrplan dabei die Besprechung des Prinzips einer Blindprobe. Während die Verwendung von pH-Papier den Schülern gelegentlich vom Erstellen eines Stoff-Steckbriefes im Unterricht der Grundschule oder aus Natur und Technik bekannt ist, erlernen sie die theoretischen Hintergründe erst in der neunten Klasse mit der Einführung der Säuren und Basen. Sie begegnen den Indikatoren und lernen erstmals eine quantitative Analyseverfahren, die Säure-Base-Titration kennen. Je nach Ausstattung der Schule bzw. verfügbarer Zeit führen sie diese auch selbst durch, alternativ vollziehen sie das Prinzip teilquantitativ z. B. durch einfaches Zutropfen mit einer Pipette nach.

Grundsätzlich finden sich viele konkrete Angaben für die Besprechung von Analyseverfahren in den Vorschlägen zu den Profildbereichen des Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Zweiges (NTG). Für Klasse neun sind sowohl die qualitative als auch die quantitative Analytik explizit erwähnt, wobei über die Flammenfärbung hinaus Fällungs- und Farbreaktionen bzw. Säure-Base-Titrationen genannt werden. Im Lehrplan werden die Analyse von Düngemitteln, Haushaltchemikalien oder die Spurensuche in der Kriminalistik sowie die Untersuchung von Wasser, Luft, Boden oder Lebensmitteln als mögliche Kontextbezüge für analytisches Grundwissen vorgeschlagen. Ausdrücklich wird hier die Photometrie als erste apparative Analyseverfahren erwähnt (z. B. zur Bestimmung des Nitrat-Gehalts).

In Jahrgangsstufe zehn folgt der Einstieg in die organische Chemie. Innerhalb des Kapitels 10.2 „Sauerstoffhaltige organische Verbindungen“ lernen die Schüler bei der Unterscheidung ein- und mehrwertiger Alkohole Kupfersulfat-Lösung als Nachweisreagenz kennen. Spätestens in der elften Jahrgangsstufe begegnet sie ihnen mit der Fehlingprobe. Weiterhin lernen sie die Silberspiegel-Probe (Tollens Reagenz) zur Identifikation reduzierender Zucker kennen. Innerhalb der elften Jahrgangsstufe wird auch auf das Thema optische Aktivität von Zuckern eingegangen und das Prinzip der Polarimetrie behandelt. Die Besprechung des Massenwirkungsgesetzes unter dem Gesichtspunkt von Protolysegleichgewichten führt in der Oberstufe zu einer quantitativen Analytik mit Säure-Base-Titrationen auch von schwachen Säuren oder Pufferlösungen und mit alternativen Möglichkeiten der Bestimmung des Äquivalenzpunktes z. B. über Leitfähigkeitsmessung.

Die Schüler lernen in der Mittelstufe also nur einzelne analytische Methoden ansatzweise kennen (Dünnschichtchromatographie, Ionennachweise, Flammenfärbung, Titration, Massenspektrometrie). Apparative Messmethoden kommen dabei in Ermangelung der notwendigen Geräte an den Schulen nicht zum Einsatz, sondern werden höchstens theoretisch behandelt. Wie an den angeführten Beispielen (Kapitel 3.3 und 6.1) für Themen von W-Seminararbeiten zu sehen ist, benötigen viele Schüler für ihre Seminararbeiten aber umfangreiche analytische Verfahren z. B. zur Isolation, Trennung und Identifikation von Substanzen. Den Schülern fehlt dabei sowohl das Hintergrundwissen über Möglichkeiten und Funktionsprinzip analytischer Verfahren als auch jegliche Erfahrung in der Durchführung oder der Handhabung solcher Geräte bzw. Apparaturen. Das LLL „Analyseverfahren der Chemie“ soll W-Seminaristen zu einem ersten Überblick über die Möglichkeiten analytischer Verfahren und die Handhabung dafür benötigter Gerätschaften verhelfen. In der Folge können die Schüler besser einschätzen, welche Messmethoden bei der Beantwortung ihrer individuellen Fragestellung hilfreich sein können.

8.2. Durchführung des LLL

Das W-Seminar kommt für das LLL an die Universität. Das Programm beginnt mit einer kurzen Vorstellung der Fakultät und ihrer Gebäude. Anhand der Poster im Gang lässt sich auf die Diversität der bearbeiteten Forschungs-Schwerpunkte hinweisen und dabei bereits auf die ein oder andere apparative Analyseverfahren Bezug nehmen. Das W-Seminar wird in Gruppen von je drei Schülern eingeteilt. Diese durchlaufen in jeweils anderer Reihenfolge die Stationen des LLLs. Dabei wird jede Station von einem anderen studentischen Betreuer betreut. Die Schüler erhalten zu Beginn das **Handout**, in dem sich zu jeder Station – und damit zu jeder vorgestellten Methode – eine Seite findet (siehe Anhang). Dabei wird jeweils eine kontextbezogene Arbeitsfrage gestellt, das Funktionsprinzip der Methode grundsätzlich erklärt und Anwendungsbeispiele aus dem Alltag werden illustriert. Das Ziel dieses Lehr-Lern-Labors ist es, einen Überblick über wichtige Analyseverfahren der Chemie zu geben – mehr lässt die Kürze der Zeit und der meist geringe Wissensstand der Schüler nicht zu. Es wurde daher bewusst darauf verzichtet, Arbeitsblätter auszugeben, die noch bearbeitet werden müssen.

An jeder **Station** des Lehr-Lern-Labors wird eine Trennmethode, ein nasschemisches oder ein apparatives Analyseverfahren vorgestellt. Die Schüler sollen an jeder Station eigenständig aktiv werden. Wo die besprochenen Apparaturen bzw. Messungen in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht realistisch zugänglich sind, wird auf Modellversuche oder Funktionsmodelle ausgewichen (z. B. Gaschromatographie, Massenspektrometrie, NMR-Spektroskopie). An jeder Station befindet sich ein Poster mit Abbildungen, die als Gesprächsanlass bei Erklärungen dienen bzw. relevante Inhalte der Station illustrieren helfen.

Die betreuenden Studierenden erhalten zur Vorbereitung ein umfangreiches Betreuerskript (Weirauch, 2015), das neben ausführlichen theoretischen Hintergründen und detaillierten Versuchsanleitungen auch didaktische Hinweise zur Umsetzung der Stationen enthält. Dieses soll sicherstellen, dass auch Lehramts-Studierende aus frühen Semestern eine fachgerechte und didaktisch korrekte Betreuung der Schüler durchführen können. Weiterhin erhalten die betreuenden Studierenden im Vorfeld des LLL-Termins ein einführendes **Coaching** zu ihrer Station durch gesondert dafür ausgebildete studentische Hilfskräfte (Kompass-Programm). Im Folgenden werden die einzelnen Stationen im Überblick (ohne detaillierte Versuchsanleitung) dargestellt.

8.3. Klassisch chemische Analysemethoden

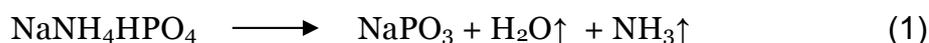
Welches Salz ist welches?

(Station 1: Ionennachweise)

Nasschemische qualitative Ionennachweise werden zum Beispiel in der Boden- oder Abwasseranalytik genutzt. Es existiert eine Vielzahl von spezifischen Einzelnachweisen für bestimmte Kationen und Anionen. Am buntesten und somit eingängigsten sind die Schwermetallsulfide. Aufgrund der Giftigkeit der Fällungsreagenzien wie Schwefelwasserstoff und der meisten Schwermetallkationen verbieten sich diese Nachweise für Schüler. Es wurde daher auf ungefährliche, psychomotorisch aber dennoch anspruchsvolle Beispiele zurückgegriffen, die im Alltagsunterricht nur in Ausnahmefällen vorkommen, für Untersuchungen im Rahmen von W-Seminararbeiten aber relevant sein können (z. B. zur Boden-Analytik).

Phosphorsalzperle

Eine Phosphorsalzperle erhält man, indem man ein ausgeglühtes Magnesiastäbchen in heißem Zustand in Natriumammoniumhydrogenphosphat $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$ taucht. Hält man die anhaftenden Krumen in die Flamme, so bildet sich ein klarer Tropfen, der außerhalb der Flamme zu einer Perle erstarrt. Man wiederholt den Vorgang, bis man eine möglichst gleichmäßige Perle erhält. Die Perle wird leicht angefeuchtet und in das zu untersuchende Salz getaucht, sodass dies an der Perle haften bleibt. Die Perle mit dem zu bestimmenden Salz wird nun wiederum in die Flamme gehalten. Dabei erhält man verschieden gefärbte Perlen. Die Farbe hängt vom analysierten Salz ab, aber auch davon, ob man die Perle in den reduzierenden inneren Flammenbereich oder in den äußeren, oxidierenden Bereich hält. Chemisch geht das $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4$ beim Erhitzen in Metaphosphat beziehungsweise in Polyphosphat $(\text{NaPO}_3)_x$ mit $x = 3,4$ bis ∞ über (Jander, 2006, S. 520). Dabei werden Wasser und Ammoniak freigesetzt (ebd., S. 336):



Gibt man Schwermetallsalze hinzu und erhitzt, so können charakteristisch gefärbte Schwermetallphosphate entstehen (Holleman & Wiberg, 1995, S. 774):



Je nach Temperatur bzw. Menge an zur Verfügung stehendem Sauerstoff entstehen verschiedenfarbige Verbindungen, die als Vorprobe für Kationen herangezogen werden können (Tabelle 36). Das Leichtmetall Aluminium ist durch Flammenfärbung nicht zugänglich und kann mit einer Phosphorsalzperle nur im Ausschluss-Verfahren identifiziert werden (farblose Perlen).

Tabelle 36: Farben von Phosphorsalzperlen⁵³ mit verschiedenen Schwermetallionen

Schwermetall	Oxidationsflamme	Reduktionsflamme
Fe²⁺; Fe³⁺	kalt: gelbrot bis rotbraun (bei starker Sättigung)	schwach grünlich
Mn²⁺	violett bis amethystfarben	farblos
Al³⁺	farblos	farblos
Cu²⁺	heiß: grün bis gelb kalt: blau	heiß: farblos kalt: rotbraun
Ti⁴⁺	heiß: gelblich kalt: farblos	farblos

Aluminiumnachweis mit Morin

Aluminium-III-Ionen bilden in neutraler oder essigsaurer Lösung mit Morin einen im UV-Licht intensiv gelbgrün fluoreszierenden Komplex. In ihm koordinieren unter Deprotonierung drei Morinmoleküle als zweizählige Liganden mit einem zentralen Aluminiumatom:

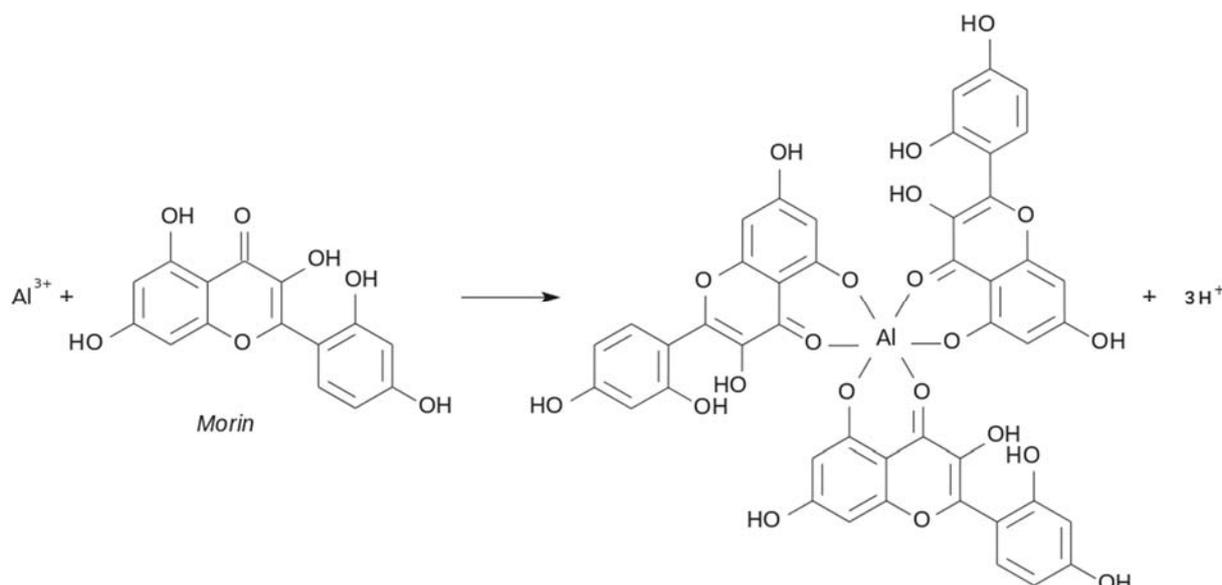


Abbildung 33: Bildung des Morin-Komplexes

Von jedem der zu untersuchenden Salze wird eine Spatelspitze in destilliertem Wasser gelöst. Wenige Tropfen essigsaurer Morinlösung werden zugegeben und die Lösungen in einem abgedunkelten Raum unter UV-Licht betrachtet.

⁵³nach: (Jander, 2006, S. 520-521)

Lernziele

Die Schüler können eine Phosphorsalzperle herstellen. Sie erkennen, dass in der oxidativen Flammenzone andere Farben erhalten werden, als in der reduktiven Flammenzone und man von der Farbe auf das Vorhandensein bestimmter Ionen schließen kann. Sie erkennen, dass Aluminiumionen nicht mit der Phosphorsalzperle nachgewiesen werden können und stattdessen Morin als spezifisches Nachweisreagenz eingesetzt werden muss. Sie haben einen Begriff davon, dass der Nachweis mit Morin auf der Bildung eines Komplexes beruht und haben einen Einblick in den prinzipiellen Aufbau von Komplexverbindungen.

Didaktische Überlegungen

Die Schüler lernen an dieser Station zwei einfache Nachweise für Ionen kennen, die ihnen in der Schule in der Regel nicht begegnen, die ihnen aber den qualitativen Nachweis vieler gängiger Metall-Kationen ermöglichen. Ihnen soll an dieser Station einerseits bewusstgemacht werden, dass sie z. B. mit der Flammenfärbung bereits analytische Verfahren kennen, über die sie Informationen über Inhaltsstoffe gewinnen können. Andererseits sollen sie erfahren, dass es über die im Unterricht üblichen Methoden hinaus weitere einfache Nachweise gibt, die sich z. B. für schnelle Voranalysen im Rahmen von W-Seminararbeiten eignen.

Den Schülern der 11. Jahrgangsstufe sollte das Prinzip nasschemischer farbiger Ionennachweise vertraut sein. Sie können in der Regel erklären, dass spezifische Reaktionen ablaufen, die zur Entstehung farbiger gelöster oder als Feststoff ausfallender Substanzen führen und das Vorhandensein bestimmter Ionen oder Moleküle belegen. Mögliche Ursache für die zu beobachtende Farbigkeit werden in diesem Zusammenhang in der Schule meist nicht thematisiert. Erst bei der Behandlung der Farbstoffe in der 11. Klasse wird die Delokalisierung von π -Elektronen als Ursache für die Farbigkeit organischer Moleküle kennengelernt und gelegentlich auch unter energetischen Aspekten betrachtet. Je nachdem, ob die das LLL besuchenden Schüler das Thema Farbstoffe schon behandelt haben, kann hier auf Vorwissen zurückgegriffen werden, oder auch nicht. Die Farbigkeit von anorganischen Verbindungen wird im bayerischen Gymnasium nicht angesprochen, denn weder die Behandlung der Orbitaltheorie noch das Thema Komplexverbindungen ist im bayerischen Lehrplan mehr vorgesehen. Den Schülern ist damit unbekannt, dass es Verbindungen mit einem Zentralion oder -atom gibt, um welches Liganden angeordnet sind. Ihnen ist nicht bewusst, dass die aus dem Biologie-Unterricht bekannten Moleküle Hämoglobin und Chlorophyll Beispiele für Komplexverbindungen sind, weshalb darauf hingewiesen werden muss. Hierzu findet sich an der Station ein Poster mit entsprechenden Abbildungen.

Manche Schüler, die aus dem wirtschaftswissenschaftlichen oder neusprachlichen Zweig des Gymnasiums in die Oberstufe kommen, haben wenig bis keine Erfahrung im Umgang mit Laborgeräten, teilweise auch mit dem Bunsenbrenner. In diesen Fällen muss ihnen zunächst das sichere Anzünden des Bunsenbrenners erläutert und dieses auch eingeübt werden.

Ablauf

Den Schülern werden fünf verschiedenfarbige Salze vorgestellt (FeSO_4 , MnSO_4 , Al_2O_3 , CuO , TiO_2) und sie werden gefragt, wie man herausfinden könnte, welche Salze hier vorliegen. Auf diese Weise wird versucht, einen Eindruck vom Vorwissen der Schüler zu Ionennachweisen zu erhalten. Als möglicher Impuls kann den Schülern ein Magnesiastäbchen gezeigt werden. Es wird ihnen in Erinnerung gerufen, dass man mit seiner Hilfe per Flammenfärbung Alkalimetalle und Erdalkalimetalle nachweisen kann. Ein Blick auf die Liste der zur Auswahl gegebenen Kationen zeigt, dass keine Alkali- oder Erdalkalimetallkationen vorliegen – es muss also noch andere Möglichkeiten zum Nachweis geben.

Die Schüler werden angehalten, einen Bunsenbrenner zu entzünden, wobei auf die Sicherheitsvorkehrungen geachtet und gegebenenfalls korrigierend eingegriffen wird. Der Betreuer zeigt den Schülern, wie man eine Phosphorsalzperle gewinnt. Die verschiedenen Zonen der Flamme werden identifiziert, wobei die Abbildung auf dem Poster helfen kann. Die Schüler stellen selbst Phosphorsalzperlen her und identifizieren in Arbeitsteilung die verschiedenen Kationen der vorliegenden Salze. Sie erkennen dabei, dass das Aluminiumsalz mit dieser Methode nur nach dem Ausschlussverfahren identifiziert werden kann. Den Schülern wird Morin als spezifische Reagenz für Aluminiumkationen vorgestellt. Am Poster wird mit Hilfe der Abbildungen geklärt, dass die Farbigkeit des Aluminium-Nachweises auf der Bildung so genannter Komplexverbindungen beruht. Der prinzipielle Aufbau eines Komplexes wird am Beispiel auf dem Poster erklärt und auf Hämoglobin und Chlorophyll als wichtige Komplexe in der Natur hingewiesen. Die Schüler entwerfen einen Versuchsablauf zur Identifikation des Aluminium-Salzes. Sie lösen die Salze in Reagenzgläsern und geben jeweils einen Tropfen Morin hinzu (Handschuhe!). In einem abgedunkelten Raum werden die Reagenzgläser mit UV-Licht bestrahlt und der Aluminium-Morin-Komplex an seiner Fluoreszenz erkannt. Die Erläuterung der Fluoreszenz innerhalb des LLL wird didaktisch reduzierend vernachlässigt, es sei denn, interessierte Schüler fragen danach.

Wie viel Säure ist im Orangensaft?

(Station 2: Thermometrische Säure-Base-Titration)

Thermometrische Titration

Bei Titrationen tropft man eine Lösung bekannter Konzentration (Maßlösung) in eine Lösung, deren Konzentration bestimmt werden soll. Die Reaktionsweise der beiden Substanzen miteinander muss bekannt sein. Aus dem Verbrauch an Maßlösung kann man über das stöchiometrische Verhältnis in der Reaktion auf die Konzentration der zu bestimmenden Lösung schließen. Bekanntestes Beispiel ist die Säure-Base-Titration. Die saure bzw. basische Maßlösung lässt man dosiert in die Vorlage tropfen.

Der Neutralpunkt ist erreicht, wenn alle Oxoniumionen aus der Säure mit allen Hydroxidionen aus der Base reagiert haben, also nur noch die Oxonium- und Hydroxidionen aus der Autoprotolyse des Wassers vorliegen. Hier gilt:

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{OH}^-) = 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{und damit: } \text{pH}=7$$

Für starke Säuren ist der Neutralpunkt gleich dem Äquivalenzpunkt. Um den Äquivalenzpunkt zu bestimmen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die am häufigsten und auch in der Schule genutzte Methode sind Säure-Base-Indikatoren. Hierbei handelt es sich um schwache Säuren oder Basen, deren Farbe sich mit dem Protonierungsgrad (und damit mit dem pH-Wert) ändert. Eine weitere Möglichkeit ist das Messen der Leitfähigkeit der Lösung. Da am Äquivalenzpunkt alle Hydroxidionen aus der basischen Lösung mit allen Oxoniumionen der sauren Lösung zu Wasser reagiert haben, liegen am Äquivalenzpunkt nur noch gelöste Salz-Ionen und die Ionen aus der Autoprotolyse des Wassers in der Lösung vor - und damit um Potenzen weniger Ladungsträger als man in einer sauren oder basischen Lösung findet. Weiterhin ist die Leitfähigkeit verschiedener Ionen von ihrem hydrodynamischen Radius abhängig, also ihrem effektiven Radius in der Lösung. Dieser ergibt sich aus der das Ion umgebenden Hydrathülle, deren Größe wiederum von einer Kombination aus Ladung und Größe des Ions abhängt. Voluminöse Ionen wie organische Säure-Anionen wandern zum Beispiel umso langsamer, je größer sie sind (Atkins, 2006, S. 793). Protonen hingegen wandern schneller, als allein durch ihre Größe und Ladung zu erwarten wäre. Dies wird durch den so genannten Grotthus-Mechanismus bewirkt: Die einzelnen Protonen wandern nicht selbst sondern nebeneinander liegende Wassermoleküle lagern kovalente Bindungen zu Wasserstoffatomen intermolekular so um, dass letztlich eine Kettenreaktion erfolgt, die die positive Ladung sehr schnell durch die Lösung transportiert (ebd.). Der relative Beitrag der Protonen zur Leitfähigkeit der Lösung ist also besonders groß. Daher ist die Leitfähigkeit am Äquivalenzpunkt einer Säure-Base-Titration minimal und der dazugehörige Graph weist an dieser Stelle ein Minimum auf.

Eine Möglichkeit, die Bestimmung des Äquivalenzpunktes didaktisch geschickt mit thermodynamischen Aspekten zu verknüpfen, ist die Messung der Temperaturänderung während der Neutralisation. Die Neutralisationsreaktion verläuft exotherm. Die Temperatur der Lösung in der Vorlage steigt also während der Titration kontinuierlich an. Am Äquivalenzpunkt ist die Neutralisationsreaktion abgeschlossen – die Temperatur der Lösung erhöht sich nicht weiter, sie kühlt vielmehr ab, da die zugegebene Maßlösung Raumtemperatur hat (Abbildung 34) (Heß, 2011, S. 132). Den Äquivalenzpunkt thermometrisch zu bestimmen ist immer dann von Vorteil, wenn Farbänderungen von Indikatoren wegen der Eigenfarbe der Vorlage nicht erkennbar wären, z. B. bei der Bestimmung des Natrium-Gehalts von Lebensmitteln oder des Säuregehalts von Galvanik-Bädern (Metrohm, 2010). Messtechnisch hat sich für die Schule die Verwendung digitaler Messwerterfassung wie dem CASSY-System bewährt. Ausschlaggebend ist dabei die Sensibilität des Temperaturfühlers, der ausreichend kleine Änderungsschritte schnell genug messen können muss. Außerdem empfiehlt sich die Verwendung eines möglichst isolierten Gefäßes als Vorlage, um

Wärmeverluste und somit Messfehler zu vermeiden. Heß (2011) schlägt die Verwendung eines Styroporbechers oder Aluminiumfolie vor.

Lernziele

Die Schüler können das Prinzip einer Säure-Base-Titration erklären und die Neutralisationsgleichung aufstellen. Ihnen sind die Begriffe Maßlösung, Vorlage, Bürette und Umschlagpunkt vertraut. Sie können eine Titration mit Hilfe einer Bürette durchführen und erklären, wie man mit Hilfe des CASSY-Systems den Verlauf der Titration verfolgen kann. Sie erläutern, dass bei einer Neutralisationsreaktion so lange Wärme frei wird, bis alle Oxoniumionen der Säure mit allen Hydroxidionen der Base reagiert haben. Das Prinzip einer thermometrischen Titration ist ihnen vertraut und sie können Anwendungsbeispiele nennen.

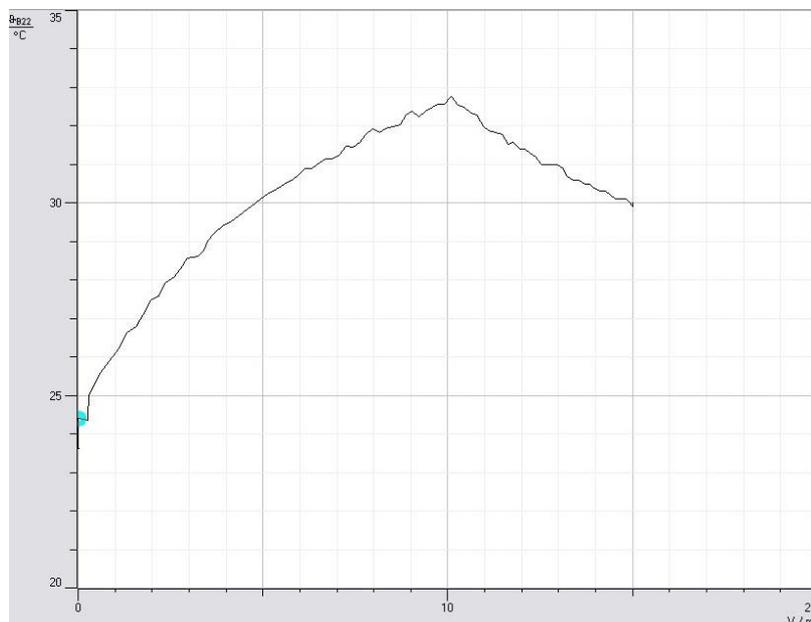


Abbildung 34: Thermometrische Titration von 1N NaOH mit 1N HCl⁵⁴

Didaktische Überlegungen

Das Thema Säure und Base ist für die 9. Jahrgangsstufe vorgesehen. Im Prinzip sollten die Oberstufenschüler also mit den Grundlagen vertraut sein. Es ist aber zu erwarten, dass hier große Unterschiede zwischen den verschiedenen Kursen festzustellen sind. So müssen das Prinzip der Titration und die Benennung der beteiligten Geräte in einem Fall wiederholt, im anderen Fall erst eingeführt werden. Die Schüler kennen die Bestimmung des Äquivalenzpunktes mit Hilfe von Indikatoren, eventuell noch über die Bestimmung der Leitfähigkeit, aber selten weitere Möglichkeiten wie zum Beispiel die Thermometrie. Hier ist es wichtig, ihnen bewusst zu machen, dass der Titration eine Neutralisationsreaktion zugrunde liegt, die exotherm ist, und gedanklich mit ihnen durchzuspielen, welcher Temperaturverlauf zu erwarten ist. Die ausliegenden laminierten Karten mit korrekten und falschen Gleichungsbestandteilen können hier

⁵⁴ aus: (Heß, 2011, S. 135)

hilfreich sein. Sinngebend für dieses Verfahren soll der Ausblick auf reale Anwendungen sein, der mit Hilfe des Posters und zweier Alltags-Beispiele erfolgt.

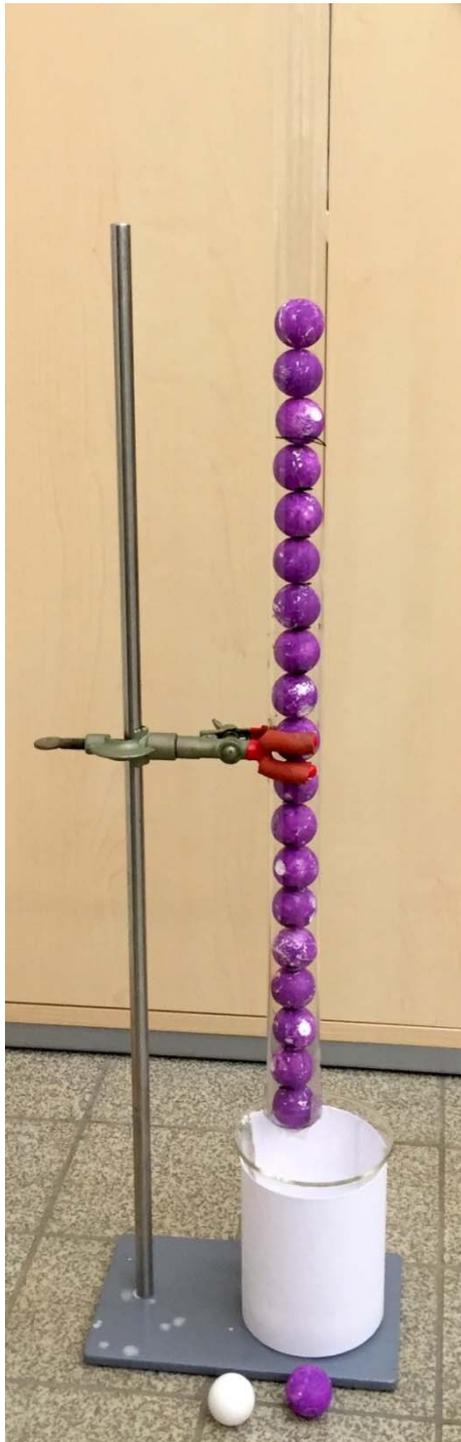


Abbildung 35: Modell Titration

Ablauf

Den Schülern wird der Versuchsaufbau gezeigt und sie werden gebeten, auf dem Tisch liegende Begriffe-Kärtchen den einzelnen Teilen der Apparatur zuzuordnen und an entsprechender Stelle anzuheften. Dabei zeigt sich schnell, ob die Schüler die notwendigen Begriffe und Zusammenhänge verstanden haben. Die Benennungsübung wird zum Gesprächsanlass für eine Wiederholung des (oder Einführung in das) Funktionsprinzip einer Titration generell. Bei besonderen Verständnisschwierigkeiten steht zudem ein Modell für die Titration zur Verfügung (Abbildung 35).

Falls den Schülern auch die Neutralisationsreaktion nicht mehr präsent ist, gibt es gestufte Lernhilfen mit den Bestandteilen einer Neutralisationsreaktion sowie nicht zur Reaktion gehörenden Summenformeln. Indem die Schüler aufgefordert werden, die der Titration zugrundeliegende Reaktion mit den Kärtchen auf dem Tisch zusammen zu legen wird sichergestellt, dass das notwendige Vorwissen für das Verständnis des Versuchs bei den Schülern vorhanden ist.

Den Schülern werden anschließend eine Packung Orangensaft und dunkles, schlammiges Wasser gezeigt. Sie werden aufgefordert, sich zu eventuellen Problemen bei der Bestimmung des pH-Wertes der beiden Lösungen zu äußern. Schnell wird deutlich, dass ein Farbumschlag schwer zu erkennen sein wird und damit die Notwendigkeit besteht, auf andere Weise den Äquivalenzpunkt zu bestimmen.

Die Schüler werden angehalten, in einem Erlenmeyerkolben aus zwei beschrifteten Flaschen Salzsäure und Natronlauge zusammenzugeben (Handschuhe!) und der Erlenmeyerkolben mit einem Stopfen zu verschließen. Sie werden aufgefordert, die Temperatur des Kolbens zu erfühlen. Auf diesem Weg wird zur Thermometrischen Titration hingeleitet. Die Bürette ist bereits mit Natronlauge als Maßlösung befüllt

(Vermeidung des Umgangs mit ätzender Lösung „über Kopf“). Die Schüler werden aufgefordert, für die Vorlage 50 ml Salzsäure abzumessen, in ein 250 ml-Becherglas zu füllen und mit destilliertem Wasser auf 100 ml aufzufüllen. In diesem Fall wird exemplarisch Salzsäure gewählt (und nicht etwa Orangensaft), weil die Wärmetönung bei der Neutralisation sonst zu gering ist. Das Becherglas mit der Salzsäure wird zur Isolation vorsichtig mit Alufolie ummantelt, ein Rührfisch hineingegeben und das Ganze auf dem Magnetrührer platziert. Das Messprogramm wird gestartet. Ein Schüler öffnet den Hahn vorsichtig, sodass möglichst regelmäßig Maßlösung zutropft. Am Bildschirm kann nun in Echtzeit der Anstieg und Abfall der Temperatur im Gefäß beobachtet werden. Aus dem ermittelten Wert wird die Konzentration der verwendeten Säure errechnet und mit den – zuvor verdeckten – Angaben auf der Flasche verglichen.

8.4. Chromatographische Methoden

Funktionsprinzip der Chromatographie

Synthetisiert man einen Stoff, so erhält man in der Regel nicht direkt das reine Produkt. Will man Stoffe aus natürlichem Material wie Blättern oder aus tierischem Gewebe isolieren, so liegen diese in eine Matrix von Begleitstoffen eingebettet vor. Auch die Analyse von Inhaltsstoffen – von Nahrungsmitteln oder Arzneipflanzen beispielsweise – geht von Stoffgemischen aus. In all diesen Fällen muss als einer der ersten analytischen Schritte die Trennung der Gemische erfolgen. Erst wenn die Anzahl und Art der Bestandteile der Gemische bekannt sind, kann eine weitere Analytik zur Strukturaufklärung oder die gezielte Isolation einer Substanz erfolgen. Damit gehören Trennverfahren zu den grundlegenden Verfahren der chemischen Analytik.

Das zugrundeliegende Phänomen chromatographischer Trennmethode ist die Wechselwirkung einer mobilen Phase mit einer stationären Phase. Mobile Phase ist in der Regel ein Gas oder eine Flüssigkeit, in denen das Gemisch gelöst ist und transportiert wird. Stationäre Phase kann ein Feststoff wie Kieselgel oder die innere (und meist beschichtete) Oberfläche einer dünnen Röhre oder ein Flüssigkeitsfilm oder eine flüssige Phase sein. Grundlage für die Trennung ist ein kontinuierlicher Stoffaustausch zwischen den beiden Phasen. Die Moleküle des Gemisches, die mit der mobilen Phase wandern, wechselwirken mit der Oberfläche der stationären Phase. Dabei unterscheidet man physikalische Wechselwirkungen (Physisorption), die auf van-der-Waals-Kräften beruhen und eine Stärke von 8-40 kJ/mol erreichen, und chemische Wechselwirkungen (Chemisorption), die deutlich stärker sind (40-600 kJ/mol) (Schwedt, 2008, S. 370). Als Beispiel für van-der-Waals-Wechselwirkungen werden Dispersions- oder Dipol-Dipol-Wechselwirkungen zwischen Adsorbat und Substrat angeführt, die zwar schwach sind, aber über große Entfernungen wirken (Atkins, 2006, S. 1015). Schwedt beschreibt die bei der Chemisorption wirksamen Kräfte als „bindungsähnliche Zustände“, die oft kovalenten Charakter haben. „Dabei

sind Adsorptionsstellen bevorzugt, an denen die [adsorbierten] Teilchen von einer maximalen Anzahl von Atomen des Substrats [der stationären Phase] umgeben sein können“ (Atkins, 2006, S. 1016). Physisorption und Chemisorption hängen von der Art des Adsorbens (stationäre Phase) und des Adsorbats (adsorbierter Stoff) ab. Da es sich um Oberflächenprozesse handelt, spielt aber auch die Größe der Oberfläche und – bei fester stationärer Phase – die Porengröße eine Rolle. Ein Maß dafür, wie lange ein Stoff zurückgehalten wird, ist die *Retentionszeit*. Die totale Retentionszeit t_R beschreibt, wie lange die mobile Phase benötigt, um die gesamte Strecke des chromatographischen Systems zu durchlaufen. Da das Gemisch mit der mobilen Phase wandert, also maximal genauso schnell sein kann wie diese, dient die Laufzeit der mobilen Phase als Bezugspunkt; sie wird auch als Mobilzeit, Durchflusszeit oder Totzeit bezeichnet. Für jeden Bestandteil des Gemischs kann nun angegeben werden, wie lange er braucht, um die gleiche Strecke zurückzulegen wie die mobile Phase. Man erhält also für jede Substanz eine Retentionszeit, die zur totalen Retentionszeit in Beziehung gesetzt werden kann. Für ein definiertes chromatographisches System ist die Retentionszeit eine stoffspezifische Größe. Auf einer bestimmten Säule A benötigt eine bestimmte Substanz unter konstanten Trennbedingungen also immer die gleiche Retentionszeit und kann daher über sie identifiziert werden.

Was macht die M&M's⁵⁵ bunt?

(Station 3: Dünnschichtchromatographie)

Dünnschichtchromatographie (DC)

Bei der Dünnschichtchromatographie ist die stationäre Phase ein poröses Material wie Siliciumdioxid, Aluminiumoxid oder Polyamid, das flächig auf einen Träger aufgetragen vorliegt. Man spricht von *DC-Platten*. Als mobile Phase dienen Flüssigkeitsgemische, so genannte *Laufmittel*. Auf die DC-Platten wird in 1 cm Abstand zu einer Kante und mit Hilfe einer Glaskapillare das Gemisch als Punkte oder als ein Strich aufgetragen. Das Laufmittel wird in eine Glaskammer gegeben, diese geschlossen und geschwenkt, sodass der Gasraum nach Möglichkeit mit dem Laufmittel gesättigt ist. Der Pegel des Laufmittels sollte unterhalb des aufgetragenen Gemisches liegen. Die Platte wird wie in Abbildung 36 gezeigt in die Kammer gestellt. Die Bestandteile des Gemisches werden vom Laufmittel verschieden gut mittransportiert. Dabei spielt zum einen die Adsorption der Bestandteile an der stationären Phase eine Rolle, zum anderen aber auch das Lösungsverhalten der Stoffe aus dem Gemisch im Laufmittel. Die Wahl eines geeigneten Lösemittelgemischs spielt somit bei der DC eine entscheidende Rolle.

Im Gegensatz zu anderen chromatographischen Verfahren verbleiben die Substanzen bei der Dünnschichtchromatographie auf der stationären Phase. Handelt es sich bei den Bestandteilen des Gemischs um farbige Substanzen, so sind sie direkt sichtbar. Im

⁵⁵ M&M® ist eine Marke der Mars Inc. für mit Zucker und Farbstoff überzogene Schokolinsen

anderen Fall müssen die Flecken durch Nachweisreagenzien sichtbar gemacht werden, die farbige oder im UV-Licht fluoreszierende Produkte ergeben.

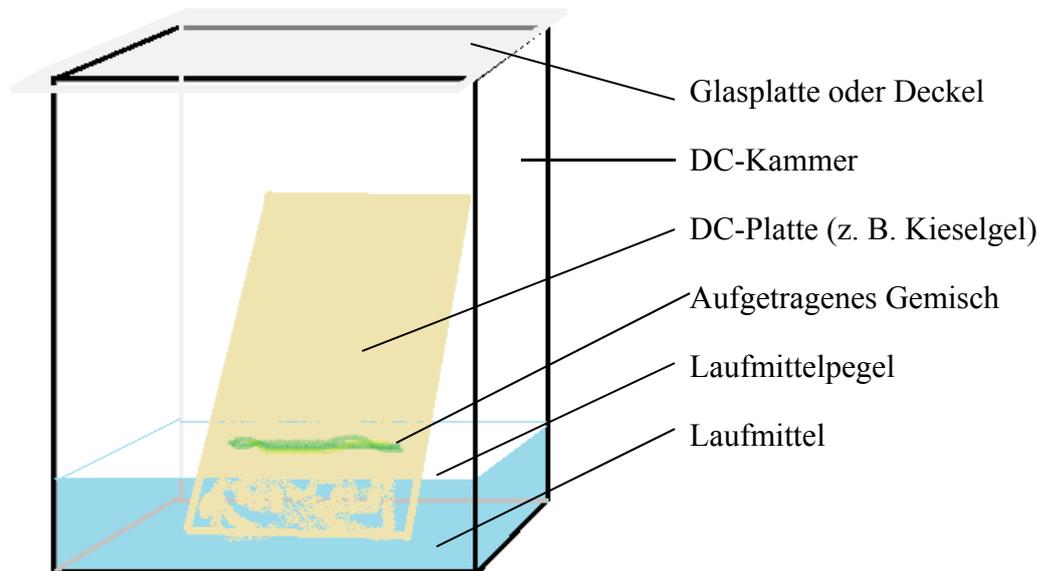


Abbildung 36: Apparatur für DC

Die Strecke, die ein Stoff zurückgelegt hat, wird mit Hilfe des Retentionsfaktors R_f angegeben. Er beschreibt das Verhältnis der zurückgelegten Strecke der Substanz a zu der vom Laufmittel zurückgelegten Strecke c :

$$R_f = \frac{a}{c} \quad (3)$$

Will man das Vorhandensein eines bestimmten Stoffes im Gemisch belegen, so lässt man den Reinstoff als Vergleichssubstanz im Chromatogramm mitlaufen. Finden sich dann zwei Stoffe mit identischem R_f -Wert im Chromatogramm, so ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass es sich um identische Stoffe handelt. Auf diese Weise eignet sich die DC zur qualitativen Analyse von Stoffen.

Lernziele

Die Schüler können beschreiben, wie man mit Hilfe von Dünnschichtchromatographie (DC) Stoffe qualitativ identifizieren kann. Sie können die Gerätschaften fachgerecht einsetzen und damit eine einfache DC eines Farbstoff-Gemischs durchführen. Sie können mit den Begriffen Adsorption und Desorption erklären, warum die Farbstoffe verschieden weit wandern. Sie erklären, dass die Identifikation der Farbstoffe durch bekannte Vergleichsstoffe erfolgt.

Didaktische Überlegungen

Manche Schüler haben eventuell im Biologieunterricht oder im PCB-Praktikum eine DC durchgeführt und kennen somit das Verfahren. In der Regel ist aber davon auszugehen, dass die Schüler bei diesem Verfahren genau angeleitet werden müssen, da es unbekannt ist. Die Schüler kennen van-der-Waals-Wechselwirkungen oder Wasserstoffbrückenbindungen als Beispiel für Wechselwirkungen zwischen Teilchen. Dass diese und andere Kräfte zu Adsorption führen können, ist ihnen in der Regel noch nicht bekannt. Kapillarkräfte hingegen kennen sie aus dem Alltag – nicht zuletzt vom Tafelschwamm oder vom Rotweinfleck auf dem Tischtuch. Es bieten sich also Kontexte aus dem Alltag an, an denen man anknüpfen kann, um das Prinzip von Adsorption am Kieselgel, von Desorption durch die Wechselwirkung mit dem Laufmittel und die Unterschiede in diesen Wechselwirkungen bei den verschiedenen Stoffen zu erklären.

Dadurch, dass die DC wenigstens 20 Minuten laufen muss, sollte so schnell wie möglich mit dem eigentlichen Experiment begonnen und die Erklärungsphase in die Zeit danach verschoben werden, wenn das Experiment läuft.

Ablauf

Den Schülern wird eine Hand voll Bio-Gummibärchen gezeigt und gefragt, was die Bärchen so bunt macht. Auf die Antwort „Farbstoffe“ hin wird gefragt, warum Bio-Bärchen weniger bunt sind als viele andere Süßigkeiten (Beispiele zur Hand haben). Im Gespräch wird herausgearbeitet, dass viele Farbstoffe, die früher für Lebensmittel verwendet wurden, heute als bedenklich gelten und daher in Lebensmitteln nicht mehr enthalten sein dürfen (z. B. Panel of Food Additives, 2008). Die Schüler werden angehalten, einen Vorschlag zu machen, wie man herausfinden könnte, welche Farbstoffe in zum Beispiel M&M[®]s enthalten sind. Die Vorschläge werden gesammelt und diskutiert. Sollten die Schüler die DC nicht vorschlagen, werden ihnen DC-Platten und das Beispiel eines fertigen Chromatogramms gezeigt. Die Schüler werden angewiesen, sich je eine Farbe von M&M[®]s auszusuchen, die sie bearbeiten wollen. Am interessantesten sind natürlich die braunen M&M[®]s, da in ihnen mehrere Farbstoffe vermutet werden können.



Abbildung 37: Verschiedene Lebensmittelfarben als Vergleichs-Proben für die DC

Die Schüler lösen die Farbe von fünf M&M[®]s in möglichst wenig Wasser ab, indem sie die Schokolinsen mit dem Wasser in ein Becherglas geben. Die Lösung sollte umgeschwenkt werden, bis sich möglichst viel Farbe aber noch kein Zucker gelöst hat (sonst Trübung!). Dann wird sie zügig in ein weiteres Becherglas abdekantiert. Diese Probelösung wird nun mehrmals auf die DC-Platte aufgetragen. Es empfiehlt sich, jeden Fleck zunächst zu trocknen (Schwenken oder Fön), bevor ein erneuter Auftrag an derselben Stelle erfolgt. Die Vergleichslösungen sind so konzentriert, dass sie nur jeweils einmal aufgetragen werden müssen. Die Schüler stellen die fertig vorbereiteten DC-Platten in die Laufmittelkammern und haben nun Zeit, sich mit dem Betreuer die der DC zugrundeliegenden Vorgänge auf Teilchenebene zu erarbeiten. Hierzu bieten die Poster Abbildungen als Gesprächsanlass. Am Ende der Station wird ermittelt, welche Farbstoffe nachgewiesen werden konnten und die Ergebnisse mit den Angaben auf der Packung verglichen.

Wieviele Bestandteile hat der Curry mindestens?

(Station 4: Säulenchromatographie)

Funktionsprinzip der Säulenchromatographie

Bei der Säulenchromatographie oder Säulen-Flüssigkeits-Chromatographie verwendet man in der Regel ein senkrecht stehendes Glasrohr mit einer Fritte und einem Hahn. Diese *Säule* wird mit einem Feststoffpulver gefüllt. Ziel ist dabei, eine möglichst dichte und gleichmäßige Packung der Säule zu erreichen, um später ein eindeutiges Trennergebnis zu erhalten. Als Füllung für die Säulen, also als stationäre Phase, werden eine Vielzahl verschiedener Pulver verwendet, die sich sowohl in der Korngröße als auch in der Polarität des verwendeten Stoffs unterscheiden. Am häufigsten sind Kieselgel- und Aluminiumoxidpulver, die zum Teil mit weiteren Stoffen versetzt oder spezifisch behandelt sind. Bei der einfachsten Variante, der Elutionstechnik, wird das zu trennende Gemisch bzw. die Probe in der mobilen Phase gelöst und diese Lösung mit einer Pipette oder Spritze auf den Kopf der Säule gegeben (Otto, 2006, S. 435). Im Anschluss lässt man das gleiche Lösemittel von oben kontinuierlich nachlaufen. Die Lösungen fließen in der Säule nach unten. Man gibt Lösemittel nach, bis die einzelnen Bestandteile des Gemisches am unteren Ende der Säule angelangt und dort ausgetreten sind. Die Fraktionen können einzeln aufgefangen werden, womit man die Bestandteile des Gemisches getrennt erhält (Abbildung 38). Während das zu trennende Gemisch die Säule durchläuft, kommt es zu den beschriebenen Wechselwirkungen zwischen den Bestandteilen des Gemisches in der mobilen Phase und der stationären Phase.

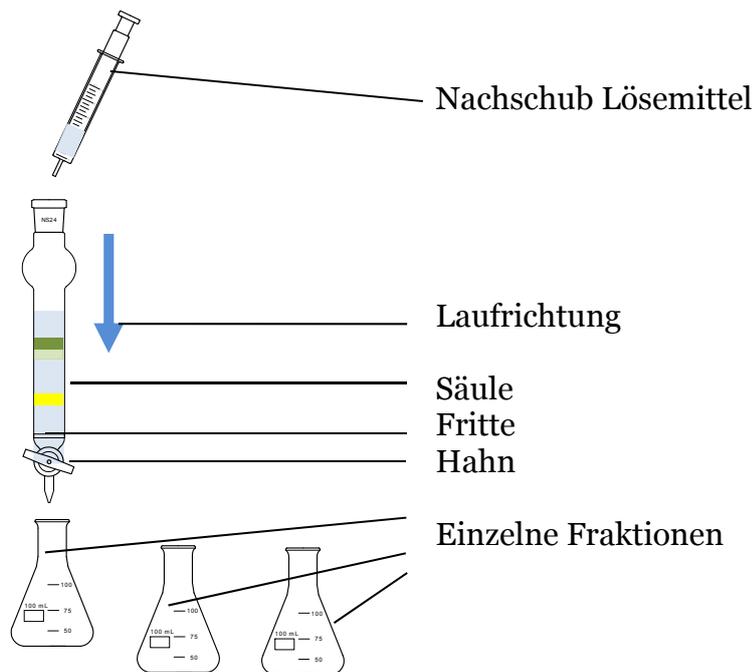


Abbildung 38: Säulenchromatographie

Will man diese Vorgänge quantitativ beschreiben, so kann man den Adsorptionsprozess als Verteilungsgleichgewicht zwischen der mobilen Phase (M) und der stationären Phase (S) betrachten. Nach dem Nernst'schen Verteilungssatz gilt: „Ein Stoff verteilt sich so zwischen zwei nicht mischbaren Phasen, dass das Konzentrationsverhältnis in den beiden Phasen bei konstanter Temperatur einen konstanten Wert annimmt“ (Otto, 2006, S. 123). Den Verteilungskoeffizienten K erhält man damit aus der Konzentration des Stoffes an der stationären Phase c_S im Verhältnis zu seiner Konzentration in der mobilen Phase c_M :

$$K = \frac{c_S}{c_M} \quad (4)$$

Dieses Verteilungsgleichgewicht wird durch den Fluss der mobilen Phase immer wieder gestört. Da die verschiedenen Bestandteile des Gemisches verschieden stark wechselwirken, also einen unterschiedlichen Verteilungskoeffizienten haben, werden sie insgesamt verschieden stark in ihrem Fortlaufen verzögert – man nennt diese Verzögerung Retention R . Dadurch verbleiben die Stoffe verschieden lange auf der Strecke und kommen zeitlich getrennt am unteren Ende der Säule an. Je länger eine Säule ist, die von einem Gemisch durchlaufen wird, desto weiter werden die Bestandteile also räumlich voneinander getrennt. Würde man mit einem Detektor am Ausfluss der Säule die Einzelbestandteile als Peaks darstellen, erhielte man z. B. den in Abbildung 39 gezeigten (idealisierten) Graphen.

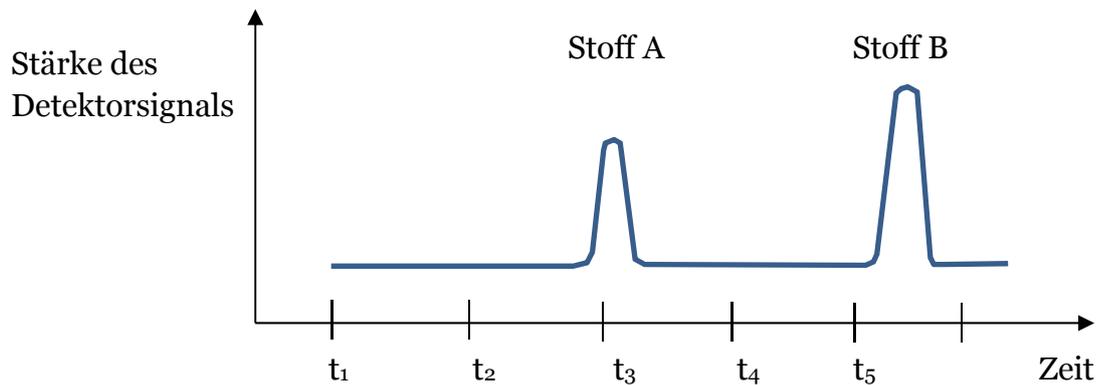
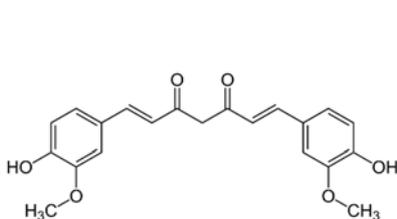


Abbildung 39: Hypothetisches Chromatogramm einer Säulenchromatographie

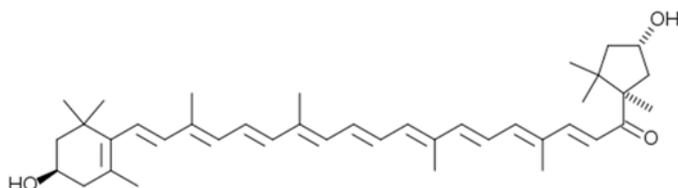
Bei einer längeren Säule liegen die Peaks zwar weiter auseinander, die Trennwirkung wäre also besser, es würde aber auch die Breite der Peaks steigen, was wiederum ein Überlappen der Peaks wahrscheinlicher macht. Es gilt also, die Bedingungen so zu wählen, dass Retention und Trennwirkung möglichst optimal aufeinander abgestimmt sind.

Bestandteile von Curry

Curry-Pulver ist eine Gewürzmischung, die sehr verschieden zusammengesetzt sein kann und in der Regel aus mehr als zehn Einzelgewürzen besteht (Belitz & Grosch, 1992). Seine gelbe Farbe bekommt Curry vor allem von Kurkuma-Pulver (getrocknetes, gemahlenes Rhizom des Gelbwurzes; Zingiberaceae). Der darin enthaltene gelbe Farbstoff ist Curcumin, ein Carotinoid, das so stark färbt, dass es auch als Lebensmittelzusatzstoff (E100) eingesetzt wird. Ein weiteres farbgebendes Gewürz ist Paprikapulver (getrocknete, gemahlene Paprika-Früchte, Solanaceae), das verschiedene Carotinoide enthält, zum Beispiel das rote Capsanthin.



Curcumin (E100, gelb)



Capsanthin (E160c, rot)

Carotinoide sind natürliche Farbstoffe pflanzlichen Ursprungs, die in der Regel aus zwei (manchmal mehr) Ringen bestehen, die über ein langkettiges, konjugiertes System miteinander verbunden sind. Ihre Farbigkeit beruht auf der Anregung der π -Elektronen des konjugierten Systems. Je mehr Doppelbindungen zu einem konjugierten System gehören, desto näher liegen die betroffenen Molekülorbitale (das *highest occupied molecular orbital* HOMO und das *lowest unoccupied molecular orbital* LUMO) energetisch beieinander und desto geringer ist die Energie, die zur Anregung der konjugierten Elektronen notwendig ist (Abbildung 40).

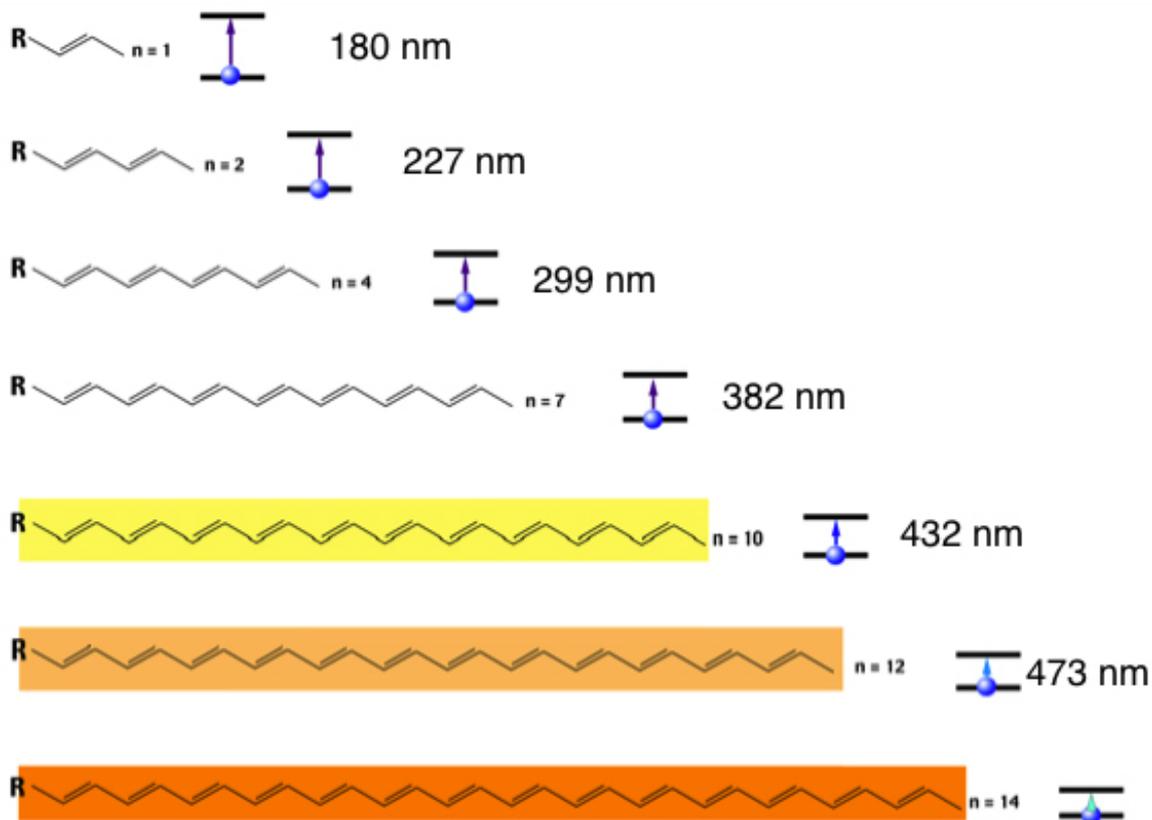


Abbildung 40: Absorption von Licht bei Polyenen⁵⁶

Auch bei Anwesenheit einzelner polarer Carbonyl- oder Hydroxy-Gruppen im Molekül sind Carotinoide in der Regel sehr unpolar und somit gut in entsprechenden Lösemitteln löslich. Daher wird bei der im LLL durchgeführten Säulen-Chromatographie ein 70:30-Laufmittel-Gemisch aus Essigsäureethylester und Pentan auf einer Kieselgel-Säule eingesetzt.

Lernziele

Die Schüler können den Ablauf der Säulenchromatographie beschreiben. Sie können die Begriffe *mobile Phase* und *stationäre Phase* den Gegebenheiten zuordnen und die Vorgänge bei der Chromatographie auf Teilchenebene erklären. Die Schüler haben Freude bei der Durchführung eines Modellversuchs zu den Verteilungsvorgängen zwischen mobiler und stationärer Phase. Sie beschreiben, dass die verschieden starke Anziehung zwischen Bestandteilen eines Gemisches und mobiler bzw. stationärer Phase letztlich eine unterschiedliche Retention und damit eine Auftrennung des Gemisches bewirken. Sie erkennen, dass am Ende einer Säulenchromatographie verschiedene Fraktionen mit den unterschiedlichen Farbstoffen erhalten werden können.

⁵⁶Aus: <http://www.u-helmich.de/che/Q2/farbe/01/seite1-02.html>; 28.01.2013

Didaktische Überlegungen

In der Regel wird den Schülern schnell klar, dass die verschiedenen Bestandteile eines Gemisches von der Säule verschieden stark zurückgehalten werden, und sich daher auftrennen. Der Modellversuch führt dazu, dass die Schüler sich mit den genauen Vorgängen auf Teilchenebene noch einmal detailliert auseinandersetzen und das zugrundeliegende Prinzip des Trennverfahrens verstehen. Da das Verfahren einerseits einen hohen Verbrauch an Lösemittel mit sich bringt und es andererseits eine Weile dauert, bis die ersten Fraktionen abgenommen werden können, nutzen alle Schülergruppen die gleiche Säule. Die erste Gruppe startet also in unten beschriebener Weise den Versuch und nimmt den Vorlauf ab. Dann wird der Versuch durch Schließen der Hähne unterbrochen und erst von der nächsten Gruppe weitergeführt, die die erste Fraktion abnimmt und dann den Versuch wieder anhält. Dies hat zwar insgesamt eine schlechtere Auftrennung des Gemisches zur Folge, ist aber im Hinblick auf Stoffverbrauch und Zeitbedarf effizient. Erfahrungsgemäß können unter Einbeziehen von Vor- und Nachlauf insgesamt sieben bis acht Gruppen die Säule im Laufe des LLL benutzen. Man erhält am Ende also fünf bis sechs verschieden gefärbte Fraktionen zwischen hellgelb und rot.

Ablauf

Den Schülern werden verschiedene Currypulver gezeigt und berichtet, dass in Indien jede Hausfrau ihr eigenes und geheim gehaltenes Curry-Rezept hat. Es wird die Frage aufgeworfen, wie man einen Anhaltspunkt zur ungefähren Anzahl der Bestandteile erhalten könnte. Den Schülern wird die Säulenchromatographie als eine Möglichkeit vorgestellt, gelöste Stoffgemische aufzutrennen. Die Funktionsweise der Säule wird erklärt. Die Schüler der ersten Gruppe lösen den Curry und geben die Probe auf die Säule. Sie öffnen die Hähne der Lösemittelzufuhr und der Säule und starten so die Trennung. Schnell sind mehrere verschieden farbige Zonen auf der Säule erkennbar. Jede Gruppe nimmt eine (durch eine einheitliche Farbe gekennzeichnete) Fraktion ab und stoppt dann den Versuch wieder durch Schließen der Hähne. Die Schüler werden jeweils angehalten, die bisher sichtbare Anzahl von farbigen Curry-Bestandteilen anzugeben.

Während die Chromatographie weiter läuft lenkt der Betreuer die Aufmerksamkeit auf den Modellversuch (verändert nach Eilks, 2002). Dieser besteht aus zwei ca. 1 m langen, verschiedenfarbigen Papierstreifen, die identisch in Abschnitte aufgeteilt sind und parallel zueinander liegen bzw. bewegt werden. Der gelbe Streifen stellt die stationäre Phase dar und bleibt an der Stelle, der blaue Streifen symbolisiert die mobile Phase und wird pro Durchgang um je einen Abschnitt *in Fließrichtung* weitergeschoben. Die Bestandteile des Gemischs sind durch blaue und rote Glasnuggets repräsentiert. Weiterhin gibt es eine Karte, die die *Verteilungsregeln* festlegt. Diese geben für die roten Teilchen eine Verteilung von $\frac{3}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ in stationärer versus mobiler Phase an und für die blauen Teilchen das umgekehrte Verteilungsverhältnis ($\frac{1}{4}$ zu $\frac{3}{4}$ in stationärer Phase bzw. mobiler Phase). Das Gemisch wird auf die Säule gegeben, indem 24 blaue und 12 rote Glasnuggets gemischt und in den ersten Abschnitt der mobilen (blauen) Phase gelegt werden. Nun muss mit den

Verteilungsregeln berechnet werden, wie viele Teilchen der jeweiligen Farbe sich auf die mobile bzw. stationäre Phase verteilen. Die Nuggets werden entsprechend gelegt und dann der blaue Streifen um einen Abschnitt weitergeschoben. Dadurch bewegen sich die in der mobilen Phase befindlichen Teilchen weiter zum nächsten hypothetischen Verteilungsschritt. Für den ersten Abschnitt ergibt sich die Situation, dass *frisches* Lösemittel nachfließt, also ein leeres blaues Feld neben dem gefüllten gelben Feld zu liegen kommt. Für beide Abschnitte müssen nun alle Nuggets zusammengesammelt und nach dem Verteilungsgesetz neu verteilt werden – ebenso für den zweiten Abschnitt. Diese Schritte werden so lange wiederholt, bis die Auftrennung der Bestandteile sichtbar wird. Die tatsächlich auf Teilchenebene wirkenden Gesetze können mit diesem Modellversuch gut visualisiert werden: Einerseits stellt sich ein Gleichgewicht zwischen der Konzentration eines Stoffes in der mobilen Phase und an der stationären Phase ein. Dieser Verteilungskoeffizient ist stoffspezifisch. Andererseits wird dieses Gleichgewicht durch das Weiterfließen der mobilen Phase ständig wieder gestört. Die Abschnitte der Pappstreifen entsprechen dabei einem gedachten Adsorptions-Desorptions-Schritt. Sehr schön kann man an der statistischen Verteilung der Teilchen auch nachvollziehen, warum keine scharfen Banden, sondern glockenförmige Peaks entstehen. Durch die einfache *Spielanleitung* können sich die Schüler die Schritte leicht selbst erarbeiten und sollten daher unbedingt dazu angehalten werden.



Abbildung 41: Modellversuch zum Verteilungsgleichgewicht in den Phasen bei der Chromatographie

Abschließend wird zur echten Säule zurückgekehrt und nochmals auf das analoge Bild von Modellversuch und Realversuch hingewiesen.

Wie kann man Formel-1-Treibstoff schnell analysieren?

(Station 5: Gaschromatographie)

Funktionsprinzip der Gaschromatographie

Da die Anzahl der Adsorptions-Desorptions-Schritte (auch *Trennstufen* genannt) mit der Länge der Säule steigt, verwendet man in der Gaschromatographie (GC) Säulen, die um ein Vielfaches länger sind, als in der Säulenchromatographie. Damit erreicht man Trennstufenzahlen, die um den Faktor 100 höher sind, als die einer gepackten Flüssigkeits-Säule (Schwedt, 2008, S. 441). Die verwendeten Säulen sind zu Spiralen gewunden und in der Regel sehr dünn. Als mobile Phase verwendet man üblicherweise inerte Gase wie Stickstoff, Helium oder Wasserstoff als Trägergas. Die Auswahl des Trägergases ist vor allem vom Trennproblem und vom verwendeten Detektor abhängig. Als stationäre Phase können Feststoffe dienen (gepackte Säulen), häufiger kommen Flüssigkeiten zum Einsatz (Skoog, Holler, & Crouch, 2013, S. 650). In gepackten Säulen, wie sie auch im LLL Anwendung findet, wird ein Metall- oder Glasrohr mit wenigen Millimetern Innendurchmesser mit einem feinen Pulver gefüllt, das meist aus Kieselgur besteht (hier: Chromosorb in Glasrohr). Zweck des Pulvers ist, als Trägermaterial für die flüssige stationäre Phase zu dienen und insgesamt eine möglichst große Oberfläche für den Kontakt zum Gas zu erreichen (Skoog et al., 2013, S. 660). Säulen, die nur Flüssigkeiten als mobile Phase nutzen, können deutlich dünner sein. In ihnen wird die Trennflüssigkeit „als dünner Film auf die innere (angerauhte) Oberfläche der Kapillare aufgebracht“. Die Trennflüssigkeit ist immobilisiert, indem sie chemisch an die innere Oberfläche der Glas-Kapillare gebunden ist. „Mit (solchen) Kapillarsäulen können 100 000 oder mehr theoretische Trennstufen erreicht werden“ (Schwedt, 2008, S. 441, 428). Sie können bis zu 100 m lang sein und besitzen einen inneren Durchmesser von 0,15 bis 1 mm (Otto, 2006, S. 456).

Eine gasförmige mobile Phase kann nur gasförmige Stoffe transportieren. Die GC eignet sich also nur zur Trennung von Gemischen, deren Bestandteile gasförmig vorliegen oder unzersetzt verdampft werden können. Gasförmige Proben bis zum 20 µL Probenvolumen können direkt in den Trägergasfluss eingespritzt werden. Flüssige Proben müssen zuerst verdampft werden. Dies geschieht, indem man sie mit einer Spritze durch ein Septum in eine beheizte Verdampfungskammer einspritzt. Diese liegt innerhalb eines Einspritzblocks (Abbildung 42), der auf eine Temperatur von ca. 50 °C über der Verdampfungstemperatur des am niedrigsten siedenden Bestandteils des Gemischs aufgeheizt wurde (Skoog et al., 2013). Um sicherzugehen, dass die Peaks nicht unnötig verbreitert werden, muss so zügig wie möglich eingespritzt werden (Otto, 2006, S. 454). Geräte, die einen Splitter besitzen, leiten nur einen kleinen Teil der eingespritzten Probe auf die Säule, der Rest wird direkt abgeleitet, wodurch eine unnötige Peak-Verbreiterung verhindert wird. Vom Injektor gelangt die Probe in die Säule und durchläuft diese. Die Temperatur der Säule wird konstant gehalten, indem sie in einem Ofen mit regelbarer Temperatur hängt.

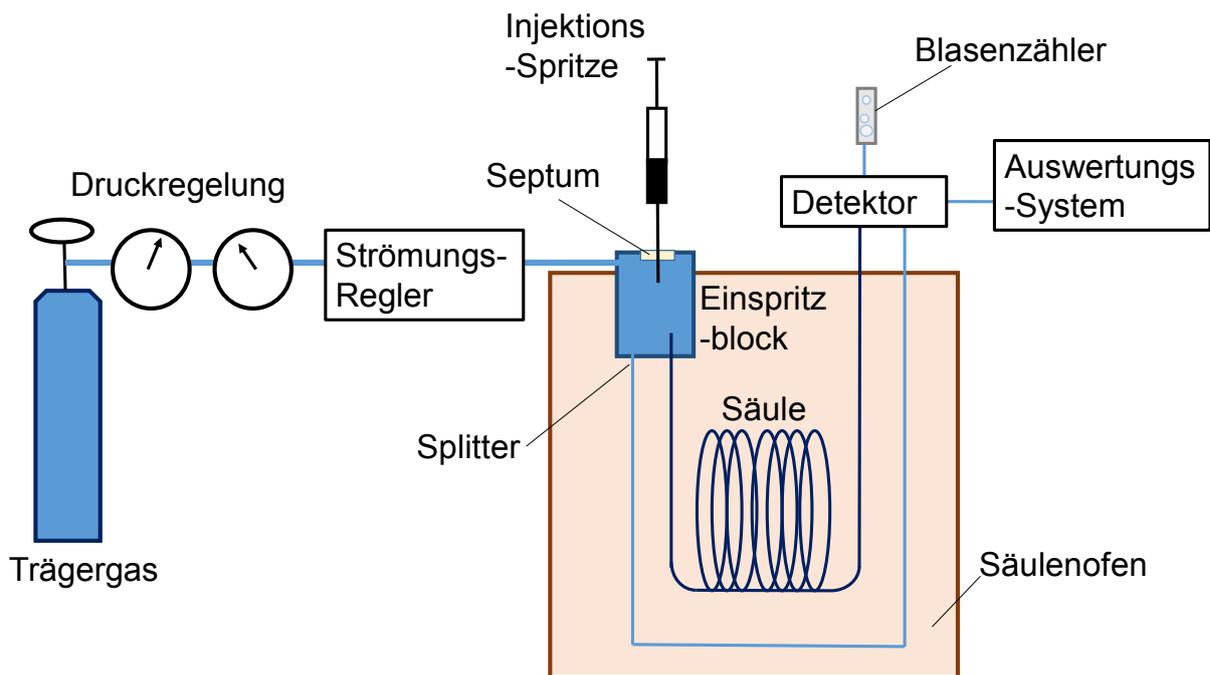


Abbildung 42: Schematischer Aufbau eines Gaschromatographen⁵⁷

Adsorptionsprozesse in der Säule bewirken die unterschiedliche Retention der Stoffe. Als dabei wirkende Kräfte nennt Otto (2006, S. 430-431) „London-Kräfte als zwischenmolekulare Kräfte zwischen zwei nichtpolaren Stoffen, Kessom-Kräfte als Orientierungskräfte aus dem Zusammenwirken permanenter Dipole (...), Debeye-Kräfte, die auf induzierten Dipolen beruhen und chemische Bindungskräfte, wie z. B. bei charge transfer-Komplexbindungen. Mit zunehmender Summe aller dieser Kräfte nimmt auch die Retentionszeit eines Stoffes zu“.

Trennwirkung

Die optimale Trennwirkung wird dann erreicht, wenn die Anzahl der Wiederholungen der Verteilungsvorgänge maximal ist. Auch wenn die Adsorptions- und Desorptionsschritte kontinuierlich an jeder Stelle der Säule ablaufen, kann man sich diese vereinfacht als in verschiedene Abschnitte unterteilt vorstellen. Jeder dieser Abschnitte entspricht dann einem Adsorptions- und Desorptionsschritt, also einem Verteilungsvorgang. Je mehr solcher Trennschritte entlang der Säule stattfinden, je geringer also die Höhe eines solchen gedachten Abschnitts ist, umso besser ist die Trennwirkung. Die Faktoren, die die Trennstufenhöhe H beeinflussen, werden durch die **Van-Deemter-Gleichung** beschrieben:

⁵⁷ Nach: (Otto, 2006, S. 454; Wagner, 2017)

Ablauf

Mit der Abbildung auf dem Poster werden die Schüler zu der Problemstellung hingeleitet, dass Treibstoffe heute hochkomplex zusammengesetzte Gemische sind, die aber z. B. in der Formel 1 in kürzester Zeit analysiert werden müssen. Hierzu ist zunächst eine Auftrennung der Gemische notwendig, die in mobilen Gaschromatographen erreicht werden kann. Je nachdem, ob die Schüler bereits andere Stationen zur Chromatographie durchlaufen haben, oder nicht, wird am Beispiel der spiralförmigen Glassäule mit Kieselgurpackung wiederholt bzw. erläutert, welche Prozesse auf molekularer Ebene ablaufen. Die Abbildungen zur Adsorption und Desorption am Poster können hierbei hilfreich sein.

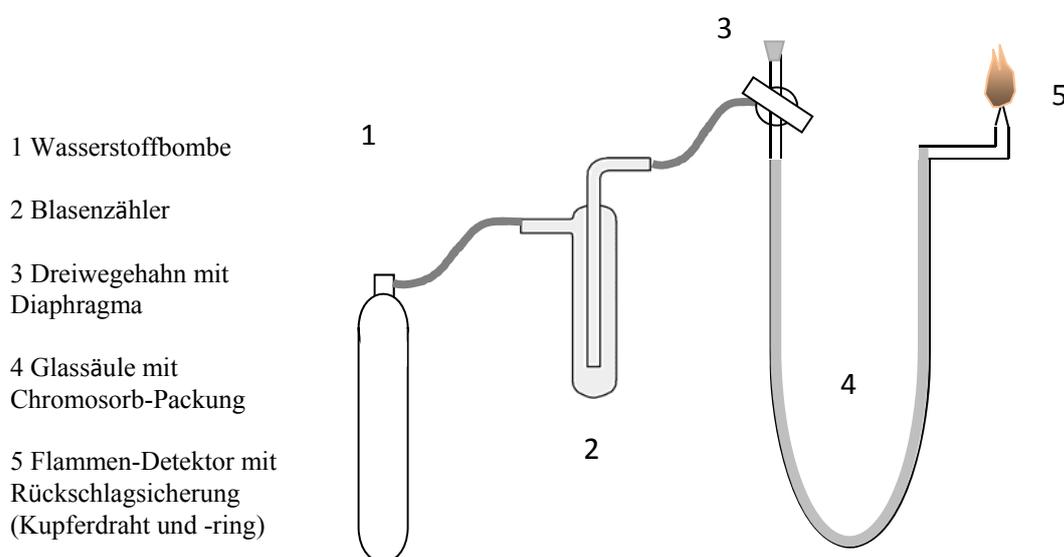


Abbildung 43: Skizze des Funktionsmodells zur GC

Den Schülern wird das Funktionsmodell vorgestellt (Abbildung 43) und dessen Funktionsweise besprochen. Mithilfe der schematischen Abbildung auf dem Poster werden Analogien zum Aufbau eines echten GC gezogen. Die Schüler erhalten die Aufgabe, herauszufinden, wie viele unterschiedliche Bestandteile im zur Verfügung gestellten Gemisch vorhanden sind. Die genaue Vorgehensweise bei der Versuchsdurchführung wird besprochen und die Aufgaben werden verteilt. Während der Durchführung müssen alle Handgriffe aus Sicherheitsgründen schnell und präzise ausgeführt werden. Ein Schüler ist dabei für die Dokumentation des zeitlichen Ablaufs verantwortlich, einer für die Probengabe per Spritze und ein Schüler bedient den Dreiwegehahn. Der Betreuer öffnet die Wasserstoff-Zufuhr und regelt sie ein. Nach kurzem Spülen der Apparatur entzündet ein Schüler auf Anweisung die Flamme am Detektor. Ein weiterer Schüler zieht das vorbereitete Gemisch aus Pentan und Trimethylboran auf die Spritze auf, während der andere die Stoppuhr vorbereitet. Ein dritter Schüler bedient den Dreiwegehahn, sodass das Gemisch mit der Spritze durch

das Septum und den Hahn auf die Säule gegeben werden kann. Damit beginnt die Messung der Retentionszeit. Die Schüler beobachten die Flamme und erkennen am zweimaligen Aufleuchten, dass es sich um zwei verschiedene Stoffe gehandelt hat. Der Betreuer dreht eine laminierte Karte um und zeigt die Strukturformeln der beiden beteiligten Stoffe. Die Schüler wissen, dass ein Alkan mit gelber Flamme brennt und daher die Borverbindung die grüne Flamme verursacht haben muss. Die Retentionszeiten der verschiedenen Gruppen werden notiert und verglichen. Unterschiede in den Daten werden hinsichtlich möglicher Fehlerquellen diskutiert.

8.5. Spektroskopische Methoden

Die bisher beschriebenen Trennmethode können Gemische in ihre Bestandteile auftrennen und ermöglichen bis zu einem gewissen Maß auch qualitative (DC) und quantitative Aussagen (GC). Die Identifikation einer Substanz oder Aussagen über ihre Struktur können damit nicht vorgenommen werden. Dies können Spektroskopische Verfahren leisten. Sie bedienen sich der Wechselwirkung von elektromagnetischer Strahlung mit Materie. Abhängig von der Wellenlänge lassen sich verschiedene Spektralbereiche unterscheiden (Abbildung 44):

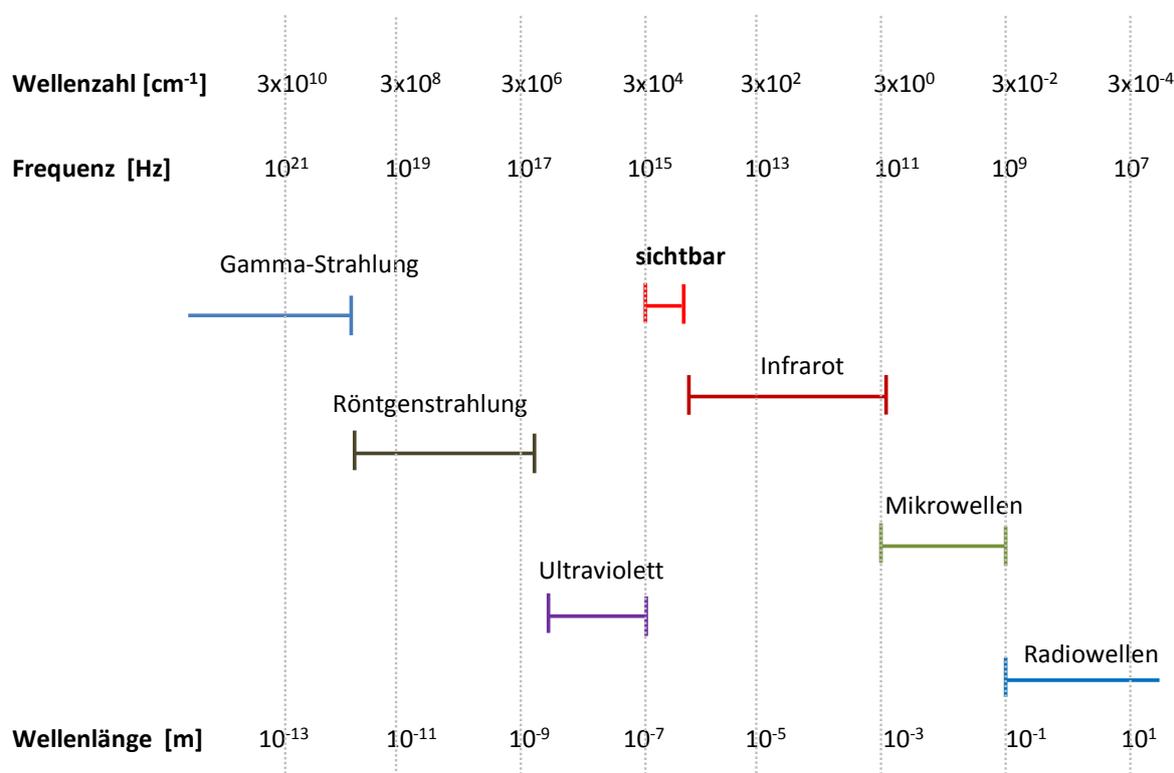


Abbildung 44: Bereiche des elektromagnetischen Spektrums⁵⁸

⁵⁸ nach (Atkins, 2006; Skoog et al., 2013)

Spektroskopie

Je nachdem, welcher Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums für die Messung verwendet wird, unterscheidet man verschiedene Spektroskopische Verfahren (Tabelle 37).

Tabelle 37: Spektroskopische Methoden⁵⁹

Strahlung	Spektralbereich	Art der Anregung
γ -Strahlen-Emission	0,005-1,4 Å	Kern
Röntgenspektroskopie	0,1-100 Å	Innere Elektronen
Vakuum-UV-Spektroskopie (VUV)	10-180 nm	Valenzelektronen
UV-Spektroskopie (UV)	180-400 nm	Valenzelektronen
Sichtbare Spektroskopie (VIS)	400-780 nm	Valenzelektronen
Nahe Infrarot-Spektroskopie (NIR)	780-2500 nm	Kombinations- und Oberschwingungen von Molekülen
Infrarot-Spektroskopie (IR)	4000-400 cm ⁻¹	Rotation und Schwingung von Molekülen
Mikrowellen-Spektroskopie	0,75-3,75 mm	Rotation von Molekülen
Elektronen Spin Resonanz (ESR)	3 cm	Elektronenspin im Magnetfeld
Kernmagnetische Resonanz (NMR)	0,6-10 m	Kernspin im Magnetfeld

Im Rahmen des LLL werden neben der Photometrie die UV-VIS-, die IR- und die NMR-Spektroskopie vorgestellt.

⁵⁹ Verändert nach (Otto, 2006, S. 162)

Hat der Weinbauer korrekt gespritzt?

(Station 6: Photometrie)

Photometrie

Die Photometrie ist eine vergleichsweise einfache spektroskopische Methode, die sich insofern von den anderen unterscheidet, als nicht die Wirkung der absorbierten elektromagnetischen Strahlung auf das Molekül von Interesse ist. Es interessiert lediglich, wie groß der Anteil an absorbiertem oder transmittiertem Strahlung im Vergleich zur eingestrahnten Intensität ist. Bei der Photometrie lässt man Licht durch eine Lösung strahlen, die sich in einer Küvette befindet, und vergleicht die Intensität des Lichtes vor (I_0) und nach (I) Durchdringen der Lösung. Einflussfaktoren wie Lösemittel, Reflexion an der Küvette oder Streuungseffekte lassen sich durch eine identische, mit dem gleichen Lösemittel gefüllte Vergleichsküvette eliminieren. Die Intensität des durchgelassenen Lichtes I ist dann nur noch von der Konzentration der Lösung c und der Schichtdicke d abhängig. Auf diese Weise kann die Photometrie genutzt werden, um die Konzentration einer Lösung zu bestimmen, womit sie zu den quantitativen Analysemethoden gehört.

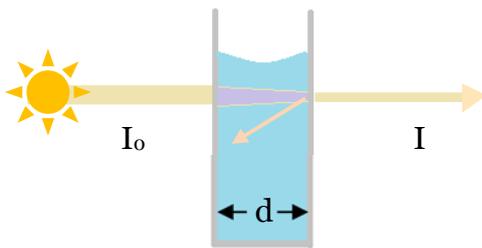


Abbildung 45: Änderung der Licht-Intensität bei Durchtritt durch eine Lösung

Übliche Intensitätsmaße sind die Transmission – die Menge an Licht, die die Lösung durchdringt – oder die Extinktion, also die absorbierte Lichtmenge. Die **Transmission** ist definiert als das Verhältnis zwischen eingestrahelter und ausgestrahlter Lichtintensität:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (6)$$

Für die **Extinktion** gilt:

$$E = \lg \frac{1}{T} = \lg \frac{I_0}{I} \quad (7)$$

Die Abhängigkeit der Extinktion von Schichtdicke und molarer Konzentration der Lösung wird durch das Gesetz von **Bouguer, Lambert und Beer** beschrieben:

$$E = \varepsilon(\lambda) \cdot d \cdot c \quad (8)$$

Mit: $\varepsilon(\lambda)$ = molarer dekadischer Extinktionskoeffizient in $\frac{\text{cm}^2}{\text{mmol}}$
d = Schichtdicke der Küvette in cm c = Konzentration in $\frac{\text{mol}}{\text{L}}$

Bei Konzentrationsbestimmungen wird zunächst das Hintergrundspektrum der Küvette mit seinem Lösemittel vermessen. Im Anschluss wird eine Eichgerade mit einer Konzentrationsreihe der zu untersuchenden Substanz aufgenommen. Will man zum Beispiel die unbekannte Konzentration einer Kupfersulfat-Lösung herausfinden, so stellt man eine Verdünnungsreihe von Kupfersulfat-Lösungen her und vermisst sie bei einer geeigneten Wellenlänge. Trägt man dann die Extinktion gegen die Konzentrationen auf, so erhält man eine Eichgerade. Vermisst man anschließend die Lösung unbekannter Konzentration, so kann man an der Eichgerade die Konzentration der Lösung bei der gemessenen Extinktion ablesen. Die Photometrie ist eine sehr empfindliche Messmethode. Es können noch Konzentrationen von 10ng / mL bestimmt werden (Otto, 2006, S. 287).

Lernziele

Die Schüler verstehen, dass die Menge an von einer Lösung absorbiertem Licht von der Konzentration dieser Lösung abhängig ist, und können dies begründen. Sie können die Begriffe Absorption und Transmission in diesem Zusammenhang erläutern. Sie können die Funktionsweise eines Photometers unter Verwendung von Fachsprache erklären. Sie wissen, wie man eine Eichgerade erstellt und können die unbekannte Konzentration einer Lösung an der Eichgerade ermitteln.

Didaktische Überlegungen

Da viele Schulen einfache Photometer besitzen oder über die Materialien verfügen, um ein einfaches Photometer selbst zu bauen, ist diese Methode besonders für das quantitative Forschen von Schülern geeignet. Das Erstellen einer Eichgerade ist relativ einfach und stellt eine Mathematisierung naturwissenschaftlicher Inhalte dar, die auch für schwächere Schüler verständlich ist. Weiterhin handelt es sich um eine in der Naturwissenschaft und Technik regelmäßig eingesetzte Methode womit ein guter Kontextbezug gegeben ist.

Ablauf

Den Schülern wird mit Hilfe der Abbildungen auf dem Poster und der zu vermessenden Probe gezeigt, dass Kupfersulfat-Lösung im Weinbau als Spritzmittel eingesetzt wird. Es wird thematisiert, dass die Konzentration der Lösung dabei eine große Rolle spielt und durch gesetzliche Regelungen begrenzt ist, um eine unnötige Belastung des Grundwassers zu vermeiden. Den Schülern wird das Photometer als Messgerät vorgestellt, mit dem man die Konzentration von Lösungen bestimmen kann. Mit Hilfe zweier laminiertes Folien mit wenigen bzw. vielen gleich großen Punkten und einer

Taschenlampe wird verdeutlicht, dass die Absorption bzw. Transmission von der Konzentration der Teilchen in der Lösung abhängig ist.

Die Schüler werden aufgefordert, nach der ausliegenden Anleitung arbeitsteilig fünf der ausstehenden Lösungen bekannter Konzentration zu vermessen. Sie sollen auf einem laminierten Millimeterpapier mit einem abwischbaren Folienstift ein Koordinatensystem aufstellen und jeder seinen Messwert eintragen. Sie erkennen, dass man mit einer Konzentrationsreihe eine Gerade erhält. Falls nicht genügend Zeit für das Vermessen mehrerer Punkte ist oder die Gerade nicht korrekt erstellt wurde, wird den Schülern eine vorbereitete und laminierte Eichgerade ausgehändigt. Die Schüler vermessen eine Lösung unbekannter Konzentration eigentätig mit dem Photometer. An der Eichgerade bestimmen sie dann die Konzentration der Lösung unbekannter Konzentration. In einer abschließenden Diskussion wird anhand der rechtlichen Bestimmungen auf dem Poster festgestellt, ob der Weinbauer die Lösung korrekt angesetzt hat und sie zum Spritzen verwenden darf.

Wieso ist der Farbstoff bunt?

(Station 7: UV-VIS-Spektroskopie)

Sichtbares Spektrum und Farbsehen

UV steht für *ultraviolett* und umfasst den kurzwelligsten Bereich des sichtbaren Spektrums, bzw. den für Menschen gerade nicht mehr sichtbaren Bereich (der von vielen Insekten zum Beispiel wahrgenommen werden kann). *VIS* steht für das englische *visible*, also *sichtbar*. Die UV-VIS-Spektroskopie nutzt also die Wellenlängen zwischen 800 nm und 200 nm und damit den Bereich des Spektrums, der vom Menschen als *sichtbares Licht* zusammengefasst wird. Für den Menschen auffälligste Wechselwirkung dieses Lichts mit Materie ist das, was wir als *Farbe* wahrnehmen:

Farbig wirken Stoffe dadurch, dass sie bestimmte Wellenlängen des Spektrums absorbieren und andere reflektieren. Die reflektierten (oder emittierten) Wellenlängen sind das, was wir als Farbe des Objektes sehen. Vereinfachend kann man davon ausgehen, dass die sichtbaren Farben jeweils der Komplementärfarbe der absorbierten Farbe entsprechen. Ein roter Farbstoff absorbiert also den blaugrünen Anteil des einfallenden Lichts, ein violetter Gegenstand den gelb(grün)en, etc. (Tabelle 38). Das Farbempfinden des Menschen beruht auf besonderen Farbrezeptoren in der Netzhaut, den Zapfen. Es gibt drei Typen von Zapfen, die sich in ihrem Sehfärbstoff unterscheiden. Als Sehfärbstoff fungiert im Säugerauge das Rhodopsin. Es besteht aus dem Vitamin A-Derivat 11-cis-Retinal, das an ein Membranprotein, das Opsin kovalent gebunden ist. Dieses Proteid nennt man *Rhodopsin*. „Absorbiert ein Rhodopsinmolekül Licht im sichtbaren Bereich des Spektrums, lagert sich die *cis*-Doppelbindung in eine *trans*-konfigurierte um. Diese Änderung der Molekülstruktur

an vielen Rhodopsinmolekülen einer Sehzelle führt über eine molekulare Signalfortleitungskette zu einem elektrischen Signal, das über den Sehnerv in das Gehirn gelangt“ (Bruce, 2011, S. 1090). Die Sehpigmente in den verschiedenen Zapfen (und den Stäbchen) unterscheiden sich im Bau dieser Opsin-Einheit, die die Absorptionseigenschaften des Retinals bestimmt. Die Zapfen absorbieren im Bereich von 440 nm (blau), 535 nm (grün) und 570 nm (rot) (Campbell, 1996, S. 1124). Die Wahrnehmung der Farben im Gehirn entsteht durch das Verhältnis der Erregung dieser drei Zapfentypen zueinander. Die Empfindung „gelb“ entsteht also dadurch, dass die Anregung der drei Zapfentypen (blau, rot und grün) relativ zueinander verrechnet wird.

Tabelle 38: Zusammenhang zwischen absorbiertem Wellenlänge und Farbe

Absorbiertes Licht		Farbeindruck, also beobachtete Farbe
Wellenlänge [nm]	Komplementärfarbe	
730	magenta	grün
640	rot	cyan
590	orange	blau
550	gelb	lila
530	gelbgrün	violett
510	grün	magenta
490	cyan	rot
450	blau	orange
425	lila	gelb
400	violett	grün-gelb

In der Bildschirm-Technik wird der Wahrnehmung durch die drei Zapfentypen Rechnung getragen – auch das Fernsehbild wird durch die Kombination der drei Farben blau, rot und grün hervorgerufen – es entspricht einer additiven Farbmischung. Additiv bedeutet, dass im Gehirn zum Beispiel der Farbeindruck blau und grün kombiniert wird. Mischt man alle drei Grundfarben, so erhält man den Farbeindruck weiß (Abbildung 46). Die additive Farbmischung ist also ein physiologischer Prozess, dem keine physikalischen Gesetzmäßigkeiten, sondern die Verschaltung der Neuronen im Gehirn zugrunde liegt.

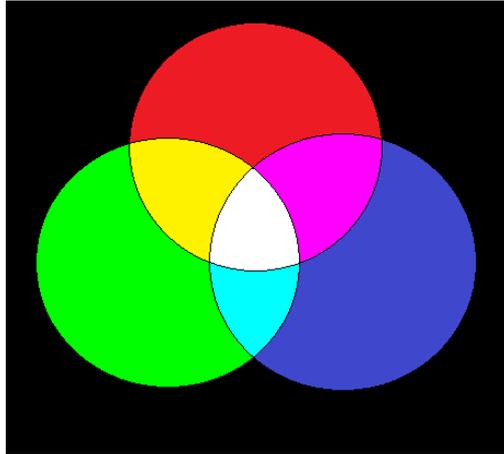


Abbildung 46: Additive Farbmischung

Im Gegensatz dazu werden im Durckereiwesen cyan, magenta und gelb verwendet. Kombiniert man sie, so kommt es zu einer *subtraktiven* Farbmischung – alle drei Grundfarben ergeben gemeinsam *schwarz* (Abbildung 47). Besonders gut kann man dies zeigen, wenn man entsprechende Farbfilter hintereinander hält. Mit jedem weiteren Filter werden zusätzliche Anteile des Spektrums herausgefiltert und der Anteil des Spektrums, der durch die Filter fällt, wird geringer. Beim Drucken werden die Farben als sehr kleine Punkte übereinandergesetzt. Das Auge kann die Punkte nicht einzeln auflösen. Auf dem Papier wird aus dem auftreffenden weißen Licht vom Pigment der komplementäre Anteil absorbiert. Es werden mehrere Wellenlängen reflektiert, die im Gehirn zum Beispiel den Eindruck cyan ergäben. Dadurch, dass ein weiterer Punkt – zum Beispiel ein gelber – darüber gedruckt wurde, werden nun aus dem vom Cyan reflektierten Licht weitere Anteile absorbiert. Im Auge entsteht schließlich aus den von den gedruckten Farbpunkten reflektierten Wellenlängen der Farbeindruck *grün*.

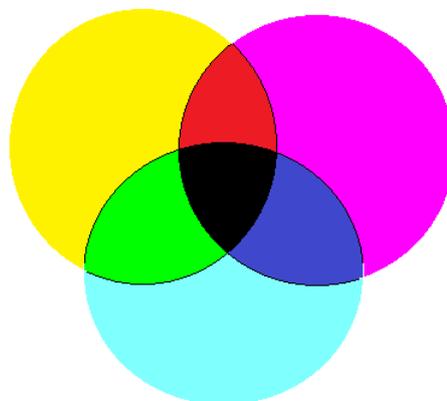


Abbildung 47: Subtraktive Farbmischung

Letztlich ist Farbe also ein durch die Biologie bestimmter Eindruck und keine physikalisch messbare Größe! Gemessen werden können nur die Wellenlängen der elektromagnetischen Strahlung.

Goethes Farbkreis

Goethes Farbkreis, wie er im Kunstunterricht gelehrt wird, hat nichts mit den physikalischen Gesetzmäßigkeiten zu tun, sondern spiegelt sein Farbempfinden wider: Goethe setzte die Farben einander gegenüber, die kombiniert eine besondere Leuchtkraft entwickelten - die Komplementärklänge (Abbildung 48). Wir nutzen diesen Begriff inzwischen, um die physikalischen Vorgänge beim Entstehen eines Farbeindrucks zu beschreiben:

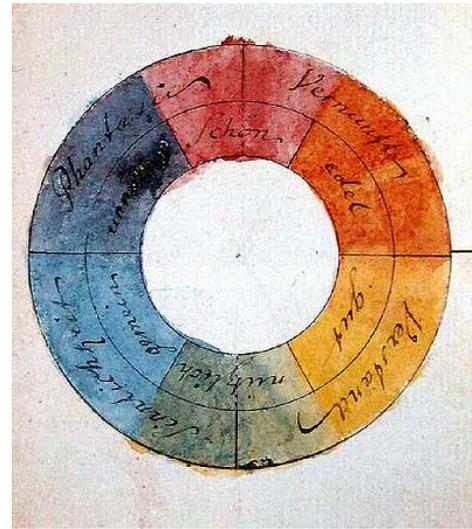


Abbildung 48: Goethes Farbkreis⁶⁰

Erscheint ein Gegenstand für uns rot, so absorbiert er vor allem die blau-grünen Bereiche des Spektrums. Die meisten Farbstoffe absorbieren in mehreren Wellenlängenbereichen jeweils verschieden stark, sodass sich für Farbstoffe ein Absorptionsspektrum ergibt (Abbildung 49).

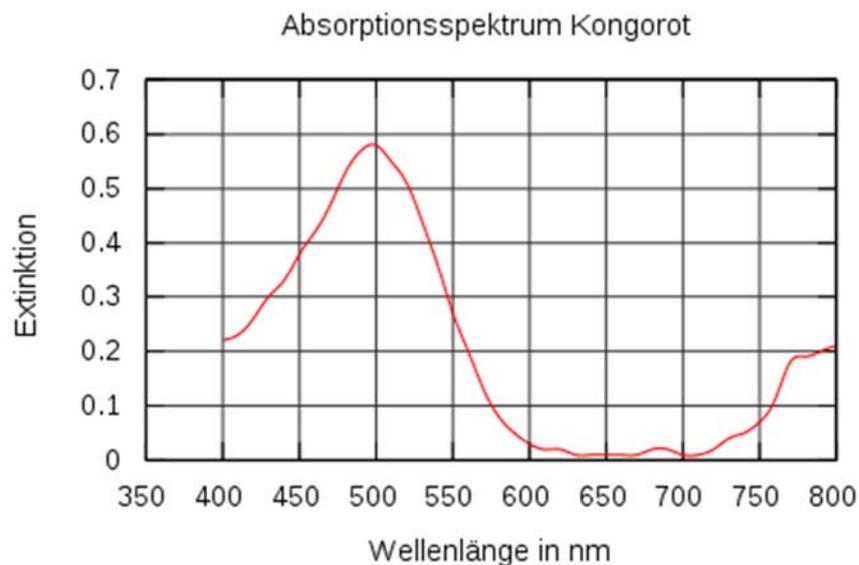


Abbildung 49: Absorptionsspektrum von Kongorot⁶¹

⁶⁰ Original, 1809

⁶¹ Michael Deitert & Tim Motl

Zustandekommen von Farbigkeit

Der Anteil eines Moleküls, der die Farbigkeit bedingt, wird als *Chromophor* bezeichnet. Die Absorption von Molekülen im UV-VIS-Bereich beruht auf verschiedenartiger Anregung von Valenzelektronen: In anorganischen Molekülen sind dies d- oder f-Elektronen von Metallionen. In organischen Molekülen werden n-, σ - oder π -Elektronen angeregt (Otto, 2006, S. 275).

Anorganische Farbpigmente sind Salze oder Komplexverbindungen. In Salzen können so genannte Farbzentren (F-Zentren) entstehen, wenn einzelne Elektronen Gitterplätze eines Anions besetzen. Diese Elektronen können angeregt werden und emittieren bei Relaxation im sichtbaren Bereich. Ein Beispiel für ein solches Salz ist eine bestimmte Form des Flussspats, der *Blue John* (Housecroft, 2006, S. 899).

In Komplexverbindungen kann es verschiedene Ursachen für die Farbigkeit des Komplexes geben, je nachdem, von wo nach wo die Elektronen angeregt werden:

d-d-Übergänge

In Komplexen sind die d-Orbitale nicht mehr entartet, sondern – je nach Koordination – verschieden aufgespalten. Die Energiedifferenz zwischen den zwei (oder auch mehr) Gruppen dieser d-Orbitale wird als *Ligandenfeldaufspaltung* bezeichnet. Da die Aufspaltung nicht groß ist, liegen die Übergänge meist im sichtbaren Bereich des Spektrums (Atkins, 2006, S. 546).

Charge-Transfer-Übergänge

Weiterhin können „Elektronen durch Absorption von Strahlung aus Ligandenorbitalen in die d-Orbitale des Zentralatoms übergehen oder umgekehrt. Bei diesen Charge-Transfer-Übergängen wird das Elektron räumlich sehr weit verschoben, was ein sehr großes Übergangsdipolmoment und eine sehr intensive Absorption bedeutet. Ein bekanntes Beispiel für einen solchen Übergang ist die violette Farbe des Permanganat-Ions“ (Atkins, 2006, S. 547).

$\pi \rightarrow \pi^*$ -Übergänge

In C=C-Doppelbindungen **organischer** Moleküle können Elektronen aus einem π -Orbital in ein antibindendes π^* -Orbital angeregt werden. Für eine isolierte Doppelbindung liegt dieser Übergang im Bereich von 7 eV, was einer Absorption bei 180 nm, also im UV-Bereich entspricht. „Wenn die Doppelbindung Teil eines konjugierten Systems ist, so liegen die Energien der Orbitale näher beisammen, die Wellenlänge des $\pi \rightarrow \pi^*$ -Übergangs ist dann größer und kann, wenn das konjugierte System genügend ausgedehnt ist, auch im Sichtbaren liegen“ (Atkins, 2006, S. 548). β -Carotin zum Beispiel erscheint orange, weil sein Absorptionsmaximum bei 455 nm, also im blauen Bereich liegt. Weitere mögliche Übergänge in organischen Molekülen sind $n \rightarrow \pi^*$, $n \rightarrow \sigma^*$ oder $\sigma \rightarrow \sigma^*$.

Lernziele

Den Schülern ist bewusst, dass Licht eine Erscheinungsform elektromagnetischer Strahlung ist. Sie wissen, dass Licht auf verschiedene Weisen mit Materie wechselwirken kann und können die Begriffe Absorption, Reflektion und Transmission definieren. Sie können erklären, dass die Farbe eines Gegenstandes durch die reflektierten Anteile des Lichts bedingt ist und sind mit dem Konzept der Komplementärfarben vertraut. Ihnen ist bewusst, dass *Farbe* keine physikalische Größe sondern ein Sinneseindruck ist. Sie reflektieren kritisch ihr Vorwissen aus dem Kunst-Unterricht in Bezug auf die physikalischen Grundlagen.

Didaktische Überlegungen

Farbe und Bunt ist für die Schüler per se motivierend. Die Schüler bringen zum Thema *Farbe* Vorwissen aus ganz verschiedenen Bereichen mit, das in der Regel nicht kongruent ist. Hier ist es wichtig, das Vorwissen der Schüler aufzugreifen und mögliche Fehlvorstellungen darzustellen, um sie schließlich auszuräumen zu können. Selbst den meisten Erwachsenen ist nicht bewusst, dass *Farbe* kein wissenschaftlicher Begriff ist, sondern aus dem Bereich unserer subjektiven Wahrnehmung stammt. Die Schüler kennen die Aufspaltung des weißen Lichts in das Farbspektrum – vom Regenbogen in der Natur und aus dem Physikunterricht. Sie wissen in der Regel, dass der Farbeindruck durch den reflektierten Anteil des weißen Lichts entsteht. Was mit dem restlichen Licht passiert, das nicht reflektiert wird, soll an dieser Station thematisiert werden.

Im Kunstunterricht lernen die Schüler den Goethe'schen Farbkreis oder ähnliche Farbsysteme kennen und sind von dort mit dem Begriff *Komplementärfarbe* vertraut, der auch in der Physik verwendet wird, obwohl den Farbsystemen der Kunst keine physikalischen Gesetzmäßigkeiten zugrunde liegen, sondern die subjektive Wahrnehmung des Menschen. Diese ist wiederum durch die evolutionäre Entwicklung der biologischen Systeme bedingt und funktioniert über rot-, blau- und grünsensible Rezeptoren. Die Schüler kennen die Zapfen und Stäbchen der Netzhaut im Säugetierauge aus dem Biologieunterricht der 9. Jahrgangsstufe und wissen, dass Licht bestimmter Wellenlängen die Zapfen verschieden anregt. Daraus folgend resultiert das RGB-System der Fernseh- und Filmtechnik, deren Funktion zwar auf physikalischen Grundlagen beruht, die sich aber unser subjektiven biologischen Systems bedient. In diesem Zusammenhang kennen die Schüler eventuell die Begriffe *additive* und *subtraktive Farbmischung*.

Entsprechend dem vielfältigen, aber nicht vernetzten Wissen der Schüler über Farbe steht an dieser Station das Schaffen eines grundlegenden Verständnisses von Licht und seinen Wechselwirkungen mit Materie im Vordergrund. Zu diesem Verständnis muss das sonstige Wissen der Schüler in Beziehung gesetzt werden. Erst dann wird es darum gehen, die Methode der UV-VIS-Spektroskopie anzuwenden.

Ablauf

Die Schüler werden eingeladen, verschiedene Gegenstände im UV-Licht zu betrachten (Geldschein, Fluoreszenzschrift, Waschmittel, Papier, ...). Die Schüler äußern sich zu der Frage, was Stoffe farbig wirken lässt. Es wird grundsätzlich geklärt, dass das vom Gegenstand reflektierte Licht unsere Farbwahrnehmung bedingt. Es wird erläutert, dass der restliche Anteil des Spektrums vom Stoff absorbiert wird. Der Betreuer erklärt, dass das absorbierte Licht verschiedene Effekte im Stoff bewirken kann. Am häufigsten ist es eine Erwärmung des Stoffes. Ein weiteres Phänomen wurde am Anfang betrachtet: Die Fluoreszenz. Der Betreuer weist darauf hin, dass in diesem Fall der Stoff selbst Licht einer bestimmten Wellenlänge abgibt. Er demonstriert, dass im Unterschied zur Fluoreszenz die Phosphoreszenz zwar auch eine Lichtabgabe ist, diese aber auch bei Ausschalten des anregenden UV-Lichtes weitergeht (Fluchtweg-Schild). Der Unterschied zwischen der normalen Farbe des Fluchtweg-Schildes (grüner Anteil wird reflektiert) und dem aktiven Abgeben von Energie in Form von Licht als Fluoreszenz oder Phosphoreszenz (passiert nur, wenn Aktivierung durch UV-Licht vorliegt) wird thematisiert.

Die Schüler haben die Begriffe Absorption und Reflexion verstanden. Sie werden gefragt, was Farbe eigentlich ist. Mit Hilfe des Spektrums der elektromagnetischen Strahlung wird verdeutlicht, dass *Farbe*, *Wärme* oder auch *Röntgenstrahlen* letztlich alles elektromagnetische Strahlen sind, die sich lediglich in der Wellenlänge unterscheiden. Es wird klargestellt, dass im UV-VIS-Spektrometer Licht aus dem sichtbaren Teil des Spektrums durch eine Probe geschickt wird und gemessen wird, welcher Anteil von der Substanz absorbiert wird und welcher die Probe durchdringt. Der Begriff der Transmission wird eingeführt. Die Schüler treffen für einen der Farbstoffe (Methylenblau, Kupfersulfat- und Methylrot-Lösungen) mit Hilfe der Tabelle auf dem Poster (Tabelle 38) und in ihrem Handout eine Voraussage, in welchem Wellenlängenbereich eine Absorption zu erwarten ist. Mit Hilfe der Anleitung am Gerät führen die Schüler eine Messung durch und bestätigen oder falsifizieren ihre Voraussage. Falls noch ausreichend Zeit ist, können die Schüler entweder einen weiteren Farbstoff vermessen oder mit dem Betreuer in eine Diskussion darüber einsteigen, warum der Mensch ausgerechnet Rezeptoren für Rot, Grün und Blau hat (biologische Relevanz fürs Überleben; Blut, Pflanzen, Wasser) oder was der Unterschied zwischen additiver Farbmischung und subtraktiver Farbmischung ist (Farbfilter-Folien). Die Abbildung eines Querschnitts durch das Wirbeltierauge und seine Retina sowie der Schemata für additive (Abbildung 46) und subtraktive (Abbildung 47) Farbmischung auf dem Poster können hierfür genutzt werden.

Welcher weiße Stoff ist welcher?

(Station 8: IR-Spektroskopie)

Licht im Infrarotbereich (IR-Bereich) wird als Wärmestrahlung wahrgenommen. So genannte *Rotlichtlampen* werden in der Medizin zum Erwärmen entzündeten Gewebes oder in der Tierhaltung als Wärmequelle eingesetzt. In der IR-Spektroskopie macht man sich zunutze, dass elektromagnetische Strahlung im IR-Bereich Molekül zum Schwingen bringen kann. Dabei hängt es von der Bindung und ihrer Umgebung ab, bei welcher Wellenlänge Resonanz und damit Absorption auftritt. Die Absorption lässt also Rückschlüsse auf die Art und Umgebung einer Bindung zu. Die einzig mögliche Schwingung einer kovalenten Bindung ist die Streckschwingung. Als Modell für die Berechnung der Streckschwingung einer Bindung kann die harmonische Schwingung einer Spiralfeder zwischen zwei Kugeln bestimmter Masse m_A und m_B herangezogen werden (Abbildung 50). Die Feder entspricht dabei der Bindung:

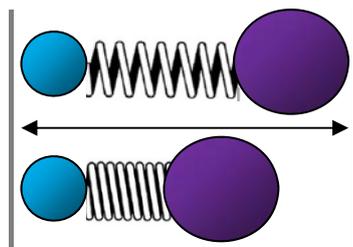


Abbildung 50: Streckschwingung einer kovalenten Bindung

Die Schwingung einer solchen Feder wird in harmonischer Näherung durch das *Hooke'sche Gesetz* beschrieben als:

$$K = -f \cdot x \quad (9)$$

mit: K = Federspannung f = Proportionalitätsfaktor x = Dehnung

Der Proportionalitätsfaktor f – im Modell die Federkonstante – wird bei Molekülschwingungen als *Kraftkonstante* bezeichnet und ist ein Maß für die Stärke der Bindung. Abhängig von der jeweiligen Stärke der Bindungen eines Moleküls kann jede dieser Bindungen die beschriebene Streckschwingung verschieden stark ausführen. Die relativen Positionen der Atome eines Moleküls zueinander sind dadurch nicht starr, sondern verändern sich ständig. Dies bedingt im Molekül insgesamt vielfältige Streck- oder Deformationsschwingungen. Ein nicht-lineares Molekül, das mehr als zwei Atome besitzt ($N > 2$), kann insgesamt $3N - 6$ Normalschwingungen ausführen. Die Form der Schwingung wird mit bildhaften Begriffen wie *Schaukelbewegung*, *Scherenbewegung*, *Wedelbewegung* oder *Torsionsbewegung* oder Englisch als *rocking*, *wagging* oder *twisting* beschrieben (Abbildung 51).

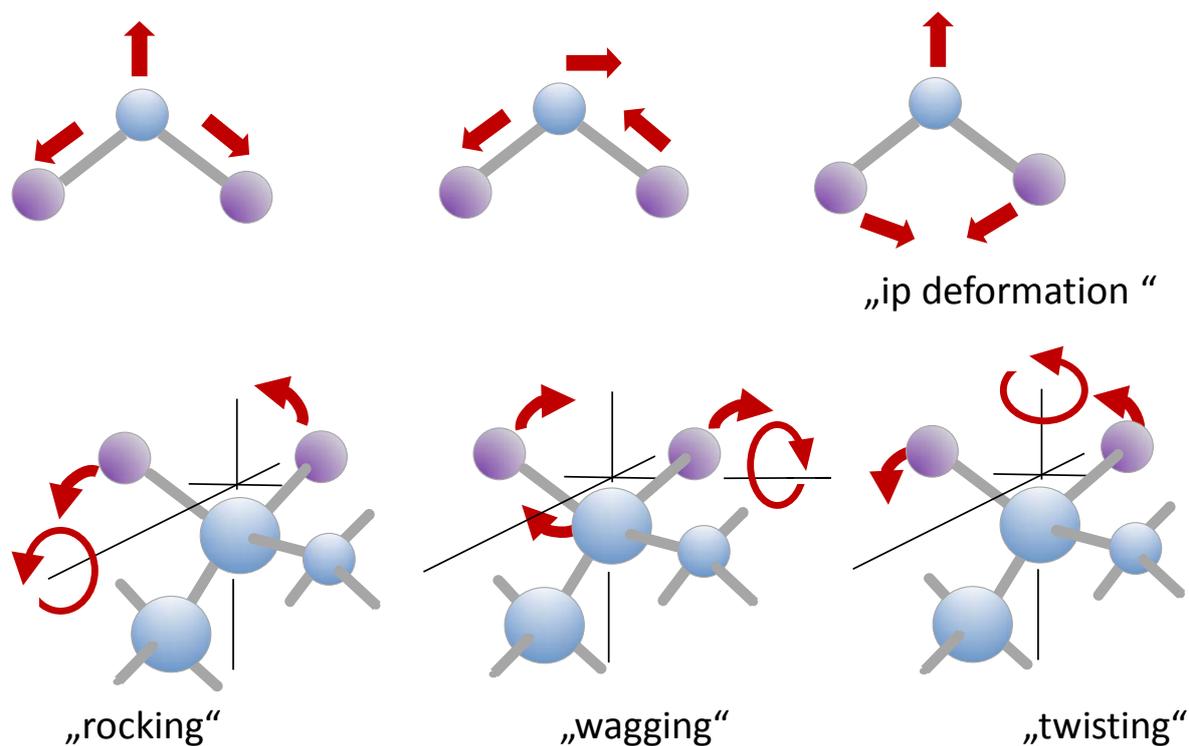


Abbildung 51: Schwingungsformen in der IR-Spektroskopie⁶²

Ausschlaggebend für das Auftreten von Absorptionsbanden in der IR-Spektroskopie ist, dass sich durch die Schwingung das **Dipolmoment** des Moleküls ändert. Nur dann ist die Schwingung IR-aktiv. Schwingen also beide Nachbarn eines Atoms spiegelsymmetrisch, so hebt sich ihr Effekt auf – das Dipolmoment ändert sich nicht und die Schwingung bleibt IR-inaktiv. Ist die Schwingung IR-aktiv und stimmt die Schwingungsfrequenz mit der der auftreffenden IR-Strahlung überein, so kommt es zu einer erhöhten Amplitude der Molekülschwingung und damit zur Absorption (Skoog et al., 2013, S. 276).

Messung

In IR-Spektrometern können Gase, Flüssigkeiten oder Feststoffe vermessen werden. Da Glas IR-undurchlässig ist, werden die lichtdurchlässigen Teile von Küvetten aus Salzkristallen (NaCl, KBr oder LiF) gefertigt. Flüssigkeitsfilme können zwischen NaCl-Scheiben – als Suspension in Paraffinöl („Nujol“) oder in bandenarmen Lösemitteln gelöst – vermessen werden (Schwedt, 2008, S. 300). Aus Feststoffen stellt man durch Verreiben mit KBr oder KCl ein homogenes Gemisch her, das mit viel Druck zu einem möglichst klaren Pressling verdichtet und dann vermessen wird. Bei der Messung werden die Wellenlängen des IR-Bereichs abgefahren und die verschiedenen Wellenlängen treffen auf die Substanz. Immer dann, wenn es zur Interferenz kommt, also die Anregungsfrequenz einer der Schwingungsmoden der Substanz entspricht,

⁶²nach (Schwedt, 2008, S. 295)

wird die Strahlung dieser Frequenz absorbiert (Bruice, 2011, S. 492-493). Bei dieser Wellenlänge bzw. Frequenz ist die Transmission damit messbar verringert. Man erhält ein IR-Spektrum, bei dem in der Regel die Prozent Transmission gegen die Wellenzahl aufgetragen werden. Die Wellenzahl $\tilde{\nu}$ ist eine Größe, in der man die Frequenz einer elektromagnetischen Strahlung angeben kann und ist die in der IR-Spektroskopie üblicherweise verwendete Größe. Sie hängt mit der Wellenlänge umgekehrt proportional zusammen über:

$$\tilde{\nu} [cm^{-1}] = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} \quad (10)$$

mit: $\tilde{\nu}$ = Wellenzahl λ = Wellenlänge ν = Frequenz c = Lichtgeschwindigkeit

Die Spektren werden in der Regel im Wellenzahlbereich von 4000 bis 400 cm^{-1} registriert. Häufig vorkommende Moden wie die C-H-Valenzschwingung oder die C=O-Streckschwingung bewirken typische und meist intensive Banden, an denen schon auf den ersten Blick das Vorhandensein von entsprechenden funktionellen Gruppen erkennbar ist. Typische IR-Schlüsselfrequenzen sind in Tabelle 39 zusammengefasst. Da zur Anregung von Valenzschwingungen größere Energiebeträge nötig sind, als zur Anregung von Deformationsschwingungen, findet man die Banden für die Streckschwingungen vor allem oberhalb von $\tilde{\nu} = 1500 \text{ cm}^{-1}$. Bei kleineren Wellenzahlen treten vor allem Deformationsschwingungen auf. Solche, die zwischen 1600 und 1000 cm^{-1} zu finden sind, beruhen auf so genannten Gerüstschwingungen und sind für das Gesamtmolekül charakteristisch (Abbildung 52). „Dieser Bereich wird daher auch als *Fingerprint-Bereich* bezeichnet“ (Schwedt, 2008, S. 297).

Fourier- und Raman-Spektroskopie

„Für herkömmliche IR-Spektrometer ist der Bereich von 10-400 cm^{-1} kaum zugänglich. Er kann mit Hilfe von *Fourier-Spektrometern* erschlossen werden“ (Schwedt, 2008, S. 298). Durch das Teilen der Messstrahlen und späteres Rekombinieren erhält man Interferenzmuster, aus denen sich mit verbesserter Auflösung das Spektrum errechnen lässt. Das im LLL verwendete Alpha Bruker FT-IR-Spektrometer ist besonders gut geeignet, da es auch für Schüler einfach zu bedienen ist. Es ist für Flüssigkeiten ebenso nutzbar, wie für Feststoffe und die Messungen dauern nur wenige Minuten.

Schwingungen, die IR-inaktiv sind, lassen sich mit Hilfe eines Raman-Spektrometers messen. In Raman-Spektrometern wird als Lichtquelle ein Laser eingesetzt, der intensives monochromatisches Licht liefert. Das Licht bewirkt keine Absorption, sondern wird gestreut. Dadurch entstehen im Molekül Schwingungen, die ein Dipolmoment induzieren. Dabei gilt das Alternativverbot: Moleküle mit Symmetriezentrum sind entweder Raman- oder IR-inaktiv (Otto, 2006, S. 248). Insofern ergänzen sich die Methoden.

Tabelle 39: Typische IR-Banden⁶³

Gruppe	Banden [cm ⁻¹]
>CH ₂ , -CH ₃	1470-1430 und 2960-2850
C=C	1680-1600
	1600 und 1500-1430
C=O	1780-1650
O-H im Alkohol	3650-3200
O-H in Carboxylgruppe	3300-2500
C-H	3300-2700

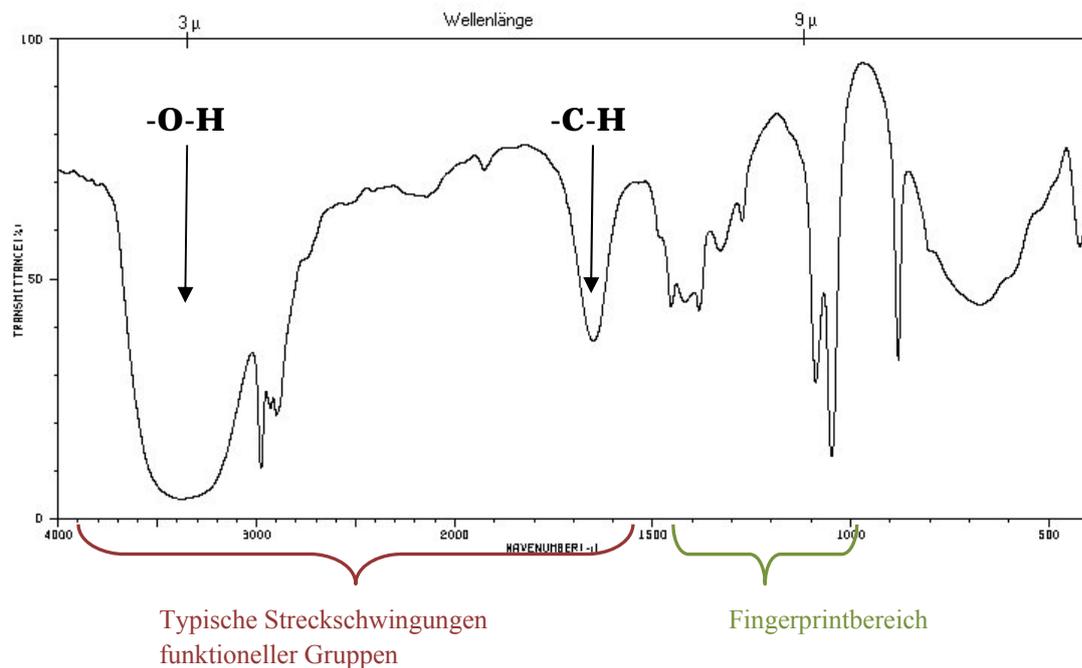


Abbildung 52: IR-Spektrum von Ethanol⁶⁴

⁶³ Nach (Bruice, 2011) und (Schwedt, 2008)

⁶⁴<http://www.chemieunterricht.de/dc2/auto/atemprob.htm>; 28.01.2013

Lernziele

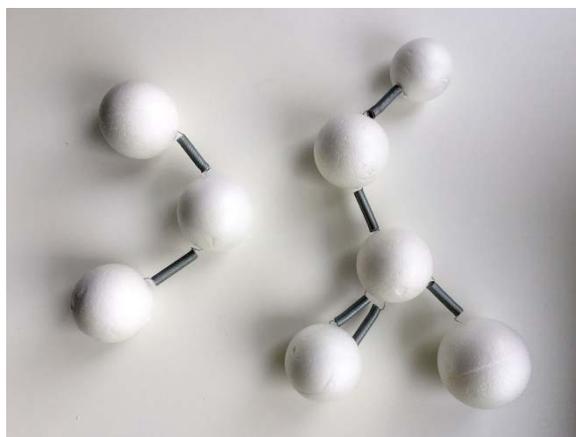
Die Schüler wissen, dass Licht im Infrarotbereich Moleküle und ihre Bindungen zum Schwingen anregen kann. Sie haben eine modellhafte Vorstellung von einigen Schwingungstypen, die möglich sind. Ihnen ist bewusst, dass je nach Bau eines Moleküls verschiedene Wellenlängen absorbiert werden und zu Schwingungen führen. Sie wissen, dass man diese Absorption messen kann und aus dem resultierenden Spektrum auf den Bau des Moleküls zurückschließen kann. Sie können eine Messung mit dem IR-Gerät durchführen und das Spektrum mit Hilfe von Vergleichsspektren und tabellarischen Angaben interpretieren.

Didaktische Überlegungen

Dass mehr Wärme nichts Anderes bedeutet, als stärker schwingende Moleküle haben die Schüler in der Regel schon im Anfängerunterricht beim Thema *Brown'sche Molekularbewegung* oder *Übergang zwischen den Aggregatzuständen* erfahren. Dennoch ist nicht zu erwarten, dass die Schüler beim Thema Wärme an Molekülschwingungen denken – der Bezug muss durch den Betreuer hergestellt und am Modell visualisiert werden.

Bei den zu vermessenden Substanzen handelt es sich ausschließlich um organische Stoffe. Die Schüler haben in der 10. Jahrgangsstufe die verschiedenen organischen Stoffklassen und ihre funktionellen Gruppen kennengelernt, in der 11. Jahrgangsstufe kommen die Aromaten hinzu. Auf diesem Wissen aufbauend sollte es den Schülern nicht schwerfallen, die fachlichen Hintergründe dieser Station zu erläutern.

Abbildung 53: Modelle zur Visualisierung von Molekül-Schwingungen



Ablauf

Den Schülern wird eine Rotlichtlampe gezeigt und um eine Beschreibung des Gebrauchs gebeten. Die Schüler sollen artikulieren, dass Rotlicht ein Wärmegefühl bewirkt und so die Durchblutung von Gewebe anregt. Als Fazit wird festgehalten, dass Infrarotstrahlung von uns auch als Wärmestrahlung bezeichnet und wahrgenommen wird. Die Schüler werden dazu angehalten, zu beschreiben, was beim Erwärmen grundsätzlich auf molekularer Ebene passiert. Mit Hilfe der Molekülmodelle (Abbildung 53) wird verdeutlicht, dass einerseits die gesamten Teilchen bei Erwärmen stärker schwingen. Der Betreuer informiert darüber, dass andererseits die Bindungen im Molekül zu verschiedenartigen Schwingungen angeregt werden. Die Schüler

probieren an den verschiedenen Modellen die Schwingungen aus und versuchen, die einzelnen Schwingungstypen mit Hilfe der Abbildungen auf dem Poster zu benennen. Der Betreuer klärt, dass es eine Interferenzregel gibt, dass also nur ganz bestimmte Wellenlängen bei verschiedenen Molekülen ganz bestimmte Schwingungen verstärken können. Schwingungen in unterschiedlichen Molekülteile absorbieren also ganz bestimmte Frequenzen des Spektrums. Welche das sind, kann gemessen werden und darüber auf die *Bauteile* des Moleküls rückgeschlossen werden.

Die Schüler erhalten eine Probe, die mit dem IR-Spektrometer vermessen werden soll. Die Schüler gehen arbeitsteilig vor und folgen dabei der schriftlichen Anleitung am Gerät. Ein Schüler liest diese vor, ein anderer bedient den Computer, ein dritter reinigt und bedient den Messkopf, der Vierte trägt die Substanz auf. Das Spektrum wird ausgedruckt und mit Hilfe der Vergleichsspektren und der Tabelle im Handout interpretiert. Im Weiteren können die Schüler entweder eine weitere Messung durchführen oder die technischen Grundlagen der IR-Messung am alten IR-Gerät mit Hilfe von laminierten Schildchen erarbeiten. Besonders schön sind am Interferometer die Interferenzen an den senkrecht stehenden Filtern zu sehen. An der Pressform kann verdeutlicht werden, wie aufwändig die Messungen früher im Vergleich zu heute waren.

Warum sind Protonen für Ärzte interessant?

(Station 9: NMR-Spektroskopie)

Die Kernmagnetische Resonanzspektroskopie, englisch *Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy* (NMR) ist eine der wichtigsten Verfahren zur Strukturaufklärung, die uns heute zur Verfügung stehen. Der besondere Vorteil der Methode ist, dass man Informationen über die Bindungspartner benachbarter Wasserstoff-Atome im Molekül erhalten kann. „In vielen Fällen kann man mithilfe der NMR-Spektroskopie die gesamte Struktur eines Moleküls aufklären“ (Bruice, 2011, S. 526). Dafür ist dieses Verfahren technisch deutlich aufwändiger als UV-VIS- oder IR-Spektroskopie und die physikochemischen Grundlagen sind komplex.

Physikochemische Grundlagen

Die NMR-Spektroskopie beruht auf der Untersuchung von Atomkernen in Magnetfeldern. Allerdings besitzen nur Atomkerne mit einer ungeraden Zahl von Protonen oder Neutronen einen Kernspin, der in einem magnetischen Moment resultiert, weshalb nur solche Kerne durch NMR-Spektroskopie untersucht werden können. Atomkerne wie ^{12}C und ^{16}O zum Beispiel haben eine gerade Anzahl von Neutronen und Protonen, wodurch ihr Spin den Wert Null annimmt (Günzler & Williams, 2001, S. 510), also kein magnetisches Moment vorhanden ist. Sie sind NMR-inaktiv und so mittels NMR-Spektroskopie nicht detektierbar. Kerne wie ^1H , ^{13}C , ^{15}N , ^{19}F oder ^{31}P können untersucht werden (Bruice, 2011, S. 526). Der Kern des Wasserstoffatoms zum Beispiel besteht aus nur einem einzelnen Proton. Dieses kann in einem von außen angelegten Magnetfeld B zwei Spin-Zuständen vorkommen, die

durch die Magnetquantenzahlen $m = \frac{1}{2}$ und $m = -\frac{1}{2}$ gekennzeichnet sind. Solch „ein geladener, rotierender Atomkern erzeugt ein magnetisches Feld, entsprechend einem Feld, das entsteht, wenn Elektrizität durch eine Drahtspule fließt“ (Skoog et al., 2013, S. 492). Dem entsprechend kann man Wasserstoffkerne modellhaft als Stabmagneten beschreiben.

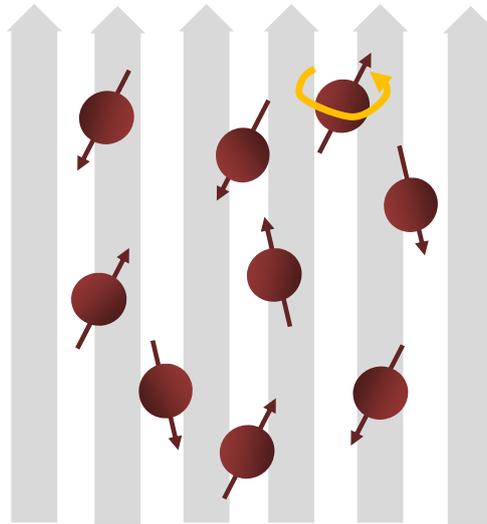


Abbildung 54: parallele und antiparallele Ausrichtung von Atomkernen mit Spin $\frac{1}{2}$ im Magnetfeld

Bringt man solche Kerne in ein äußeres Magnetfeld ein, so richten sie sich nach diesem aus. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten: Die Magnetfeldvektoren können sich parallel oder antiparallel zu den Magnetfeldlinien ausrichten (Abbildung 54), wobei die Ausrichtungen verschiedenen energetischen Niveaus entspricht (Günzler & Williams, 2001, S. 511). Die antiparallele Ausrichtung ist energetisch ungünstiger als die parallele. Es befinden sich daher immer etwas mehr Atomkerne im energieärmeren parallelen Zustand als im antiparallelen Spinzustand. Der Unterschied ist sehr klein – etwa 20 von 1.000.000 Protonen – „doch reicht diese geringfügige Ungleichverteilung aus, um die Grundlage für die NMR-Spektroskopie zu bilden“ (Bruice, 2011, S. 527).

Weiterhin richten sich die Spins nicht ganz parallel zum Feld aus, sondern rotieren um die gedachte Achse der Feldlinien – man sagt, sie „präzidieren“. Die Umlauffrequenz dieser Präzession heißt *Lamor*-Frequenz. Durch einen Energieimpuls senkrecht zum Feldvektor in Form von elektromagnetischen Wellen ($h\nu$) können die Kerne dazu gebracht werden, vom energieärmeren parallelen Zustand in den antiparallelen hinüberzuwechseln. Allerdings kann dieser Übergang nur passieren, wenn er quantenmechanisch erlaubt ist, also die Energie, die auf den Kern trifft, genau der Differenz zwischen dem energieärmeren parallelen Zustand und dem energiereicheren antiparallelen Zustand entspricht. Das ist der Fall, „wenn die Frequenz des eingestrahlten Energiequantums der *Larmor*-Frequenz des magnetischen Kernmoments entspricht“ (Schwedt, 2008, S. 308). Modellhaft kann das Präzidieren

an einem Gyroskop gezeigt werden. Der Moment der Interferenz lässt sich mit dem Kippen eines *Stehauf-Kreisels* visualisieren (Abbildung 55). Die Menge an Energie, die aufgewendet werden muss, um das *Umkappen* der Spins zu bewirken, ist auch vom angelegten magnetischen Feld B abhängig und zu ihm proportional. Tatsächlich ist die aufzuwendende Menge an Energie aber für die Wasserstoffe im Molekül geringfügig verschieden, was durch die unterschiedliche Abschirmung der Wasserstoffatome durch ihre jeweiligen Elektronen verursacht wird.

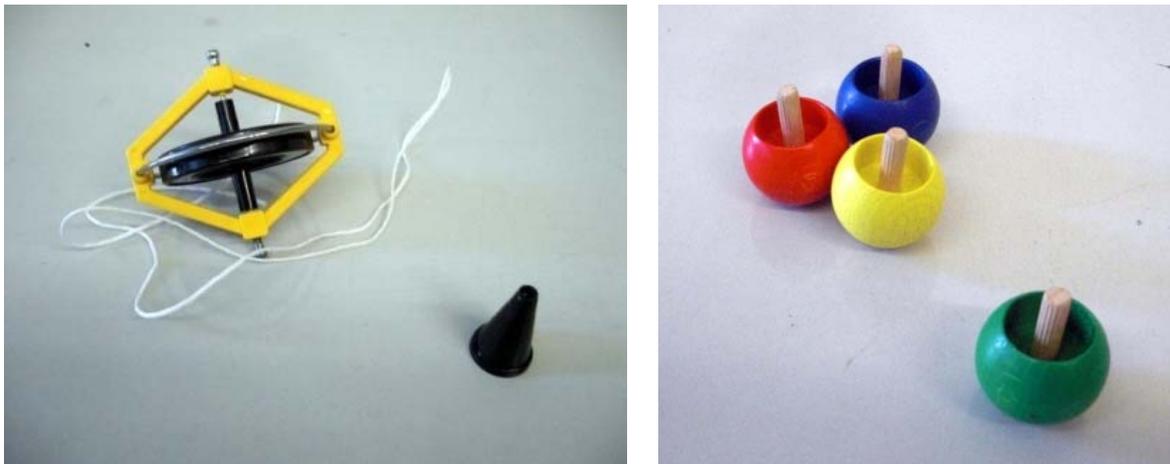


Abbildung 55: Gyroskop (links) und Stehauf-Kreisel (rechts)

Abschirmung

Atomkerne sind von Elektronen umgeben. Diese schirmen den Kern gegen ein äußeres Magnetfeld ab, sodass das effektive Magnetfeld, das der Kern *sieht*, kleiner ist. Da die Abschirmung von den Elektronen abhängt, ist natürlich die elektronische Umgebung des Atoms insgesamt von Bedeutung: Je nachdem, welche Bindungen das Atom (über die Elektronen) eingegangen ist, folgt eine verschieden hohe Abschirmung des Kerns. Induktive oder mesomere Effekte, die die Elektronendichte im Wasserstoffatom erhöhen (+I- oder +M-Effekt), bewirken eine höhere Abschirmung des H-Kerns. Eine stärkere Abschirmung muss kompensiert werden, wenn die Kerne zum Umkappen im Feld gebracht werden sollen. Ist der Kern stärker abgeschirmt, muss man also mehr Energie aufwenden. –I-Effekte und –M-Effekte haben dem entsprechend die umgekehrte Wirkung – es muss ein schwächeres Feld aufgewendet werden (Lehmann, 2011).

Messung - Theorie

Für Wasserstoffkerne liegen die aufzuwendenden Energiedifferenzen in der Größenordnung von Radiowellen, also im langwelligen, relativ energiearmen Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Dabei sind die Unterschiede zwischen den verschiedenen Wasserstoffkernen in einer Probe sehr klein. Um eine Auflösung zu erreichen, die diese kleinen Unterschiede aufzeigen kann, sind sehr hohe magnetische Flussdichten B notwendig (Abbildung 56). Je höher die Flussdichte B , desto besser

kann man die Energien voneinander unterscheiden, und desto größer ist die Auflösung. Diese hohen magnetischen Flussdichten können durch Einsatz von supraleitenden Spulen erreicht werden, bei denen flüssiges Helium bei 4K zur Kühlung verwendet wird. Solche Magneten können Felder von 4,7 bis zu 28,2 Tesla erreichen, was Wasserstofffrequenzen von 200 bis 1200 MHz entspricht (Bertermann, 2017).

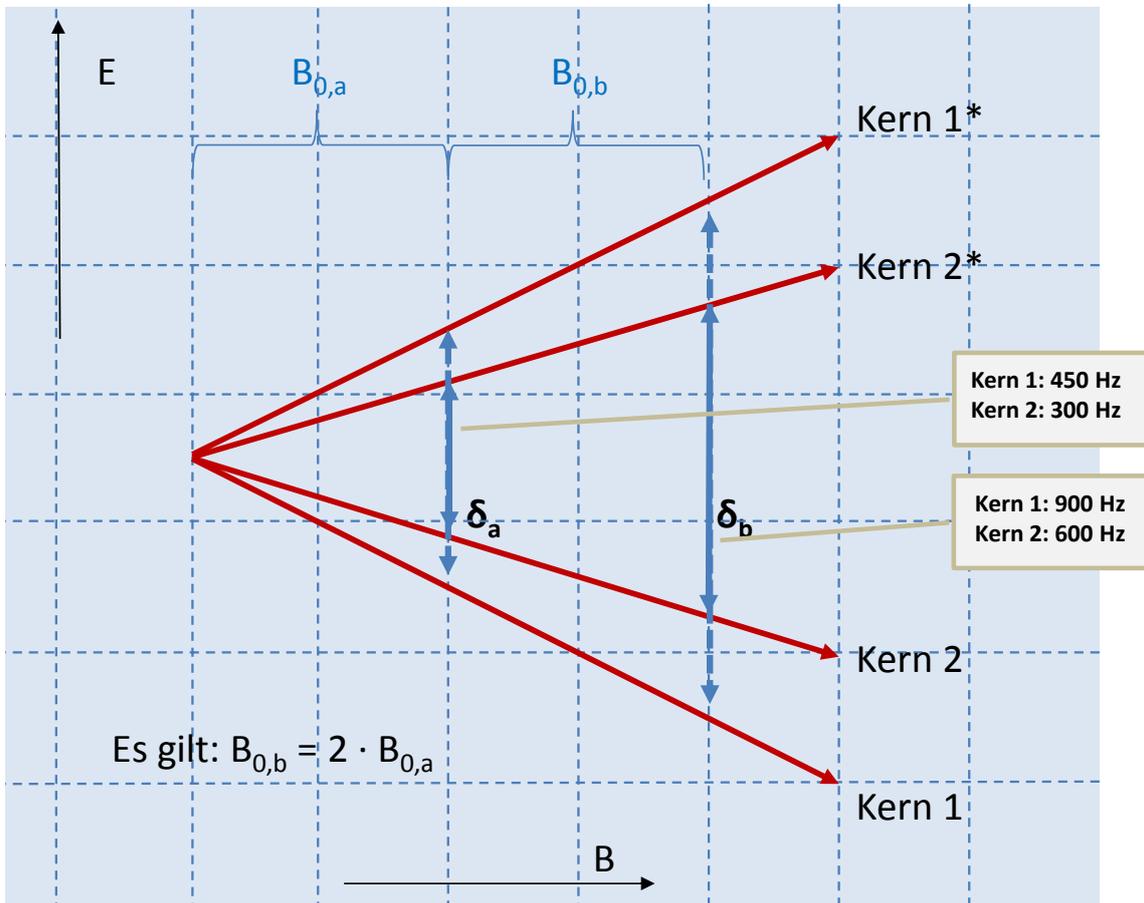


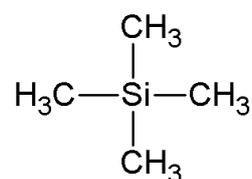
Abbildung 56: Erhöhte Auflösung bei höheren Magnetfeldern (nach Bertermann, 2017)

Bis in die 1960er Jahre wurde in der so genannten *Continuous Wave Methode* (CW-NMR) gearbeitet. Dabei wird für die Messung entweder das Magnetfeld oder die Frequenz variiert und das Absorptionsspektrum aufgezeichnet. Heute bedient man sich stattdessen einer so genannten *Puls-Fouriertransformationstechnik*. Dabei werden alle Kerne gleichzeitig durch einen Hochfrequenz-Impuls angeregt und alle Frequenzen gleichzeitig detektiert. Per Fourier-Transformation (FT-NMR) werden dann die einzelnen Resonanzfrequenzen errechnet, die sich durch die Relaxation der angeregten Wasserstoffkerne ergeben. Unter der Relaxation, also dem *Abklingen* der Magnetisierung versteht man die Rückkehr der Kerne aus dem angeregten in ihren Grundzustand. Sie kann über verschiedene Relaxationsmechanismen erfolgen und liegt im Bereich von 10^2 - 10^{-4} Sekunden (Schwedt, 2008, S. 308-309). Modellhaft kann die Relaxation mit dem wieder-zurück-Kippen eines langsamer werdenden Stehauf-Kreisels dargestellt werden.

Messung - Praxis

Ein NMR-Spektrometer besteht grundsätzlich aus einem sehr starken Elektromagneten (1-2 Tesla, supraleitende 10-20 Tesla Feldstärke), in dessen Mitte die Probe in einem 5-10 mm dünnen und ca. 20 cm langen Glasröhrchen eingebracht wird. Die Probe rotiert um ihre eigene Achse, um Magnetfeldinhomogenitäten des NMR-Röhrchens auszumitteln. Senkrecht zum Magnetfeld sendet ein Hochfrequenzsender Impulse im Radiowellen-Bereich durch die Probe. Die Proben werden in Lösung vermessen. Dabei sollte das Lösemittel natürlich wasserstofffrei sein. Man verwendet zum Beispiel deuteriertes Chloroform, Dimethylsulfoxid oder Benzol (Bertermann, 2017).

Als Referenz wurde früher der Probenflüssigkeit Tetramethylsilan TMS zugesetzt (siehe rechts). Die Protonen der Methylgruppen des TMS absorbieren bei niedrigerer Frequenz als die meisten organisch gebundenen Protonen und das TMS-Signal befindet sich am rechten Ende des Spektrums. Hier, am so genannten *Hochfeldrand* des Spektrums, überlagerte sich das TMS-Signal nur selten mit den Signalen der Probe.



Die Signale der verschiedenen Protonen wurden schließlich relativ zum TMS-Signal bestimmt, das als Nullpunkt der Skala angenommen wurde. Die Lage eines Signals relativ zum TMS wurde als *chemische Verschiebung* (shift) bezeichnet. Heute sind die Referenzfrequenzen im Spektrometer hinterlegt und werden bei der Ermittlung des Spektrums automatisch mit eingerechnet. Um die chemische Verschiebung δ unabhängig von der Messfrequenz angeben zu können, bezieht man die gemessene Verschiebung der Relaxationsschwingung in Hz auf die Arbeitsfrequenz des Spektrometers in MHz und gibt δ als dimensionslose Verhältnisgröße in parts per million an (Bertermann, 2017; Bruice, 2011, S. 534):

$$\text{chemische Verschiebung } \delta \text{ [ppm]} = \frac{\text{Verschiebung relativ zur Referenz [Hz]}}{\text{Arbeitsfrequenz des Spektrometers [MHz]}} = \frac{\Delta\nu}{\nu_0} \quad (11)$$

Je stärker die Protonen durch eine elektronenreiche Umgebung abgeschirmt sind, umso niedriger ist die Frequenz, mit der man sie zur Absorption (und damit zum Umklappen ihres Spins) bringen kann. Je niedriger die Frequenz, desto kleiner sind die resultierenden δ -Werte und desto weiter rechts (im Hochfeld) erscheint ihr Signal im Spektrum.

Lernziele

Die Schüler verstehen, dass Protonen einen Spin haben und daher ein magnetisches Moment, weshalb sie sich im Magnetfeld ausrichten. Sie wissen, dass Wasserstoffatome in allen biologischen Geweben vorkommen. Sie verstehen, dass die Spins der Wasserstoffkerne – je nach molekularem Umfeld des Wasserstoffes – im Magnetfeld unterschiedliche Resonanzfrequenzen zeigen. Sie kennen die Strukturaufklärung und die Magnetresonanztomographie als praktische Nutzung

dieses Phänomens. Sie beschreiben Präzession und Interferenz mit Hilfe von Gyroskop, Kipp-Kreisel und Stimmgabeln.

Didaktische Überlegungen

Die theoretischen Hintergründe der NMR-Spektroskopie sind sehr komplex und werden selbst im Chemiestudium nur im Überblick besprochen. Die Schüler bringen elementare Kenntnisse zum Magnetismus mit. Ein weitergehendes Verständnis kann aber nicht erwartet werden. An dieser Stelle muss durch starke didaktische Reduktion und modellhafte Visualisierung versucht werden, den Schülern zu einem groben Verständnis der Methode zu verhelfen.

Ablauf

Den Schülern wird eine magnetresonanz-tomographische (MRT-) Aufnahme gezeigt und gefragt, wie man eine solche Aufnahme erstellt und wozu. Eventuell bekanntes Wissen zur Funktionsweise des Verfahrens wird erfragt – zum Beispiel der Umstand, dass bei einer MRT-Untersuchung ein sehr starker Magnet beteiligt ist, weshalb alles Metall abgelegt werden muss. Wozu dient der starke Magnet? Und was hat das Ganze mit der Chemie zu tun? In der Chemie wird das gleiche Verfahren wie in der Medizin genutzt – hier heißt es NMR-Spektroskopie. Um seine Funktionsweise zu verstehen, muss man den Bau der Atome kennen: Am Poster wird auf das Periodensystem eingegangen und kurz mit den Schülern rekapituliert, nach welchen Regeln die Elemente in das PSE einsortiert sind. Es wird auf das Vorwissen zurückgegriffen, dass die Masse der Elemente vor allem durch den Kern bestimmt wird, der aus Protonen und Neutronen besteht. Der Bau des einfachsten Atoms wird von den Schülern beschrieben. Die Schüler erhalten die Information, dass Atomkerne mit einer ungeraden Zahl von Protonen oder Neutronen ein magnetisches Moment haben und nur diese durch NMR untersucht werden können. Jeder Atomkern hat einen Spin, rotiert also um seine eigene Achse. Dadurch wird ein Magnetfeld induziert, sodass man einen solchen Atomkern auch als Stabmagneten beschreiben kann. Die Schüler erhalten kleine Stabmagneten und werden aufgefordert, zu demonstrieren, wie diese sich in einem von außen angelegten Magnetfeld verhalten. Die Stabmagneten werden durch kleine Papierkugeln mit Spießchen (symbolisiert die Rotationsachse) ersetzt. Die Schüler werden aufgefordert, mit Hilfe dieser Modelle und des auf der Pappe aufgezeichneten magnetischen Feldes zu diskutieren, was mit Atomkernen passiert, wenn sie in ein sehr starkes magnetisches Feld geraten. Die Schüler kommen in der Regel schnell darauf, dass es eine parallele und eine antiparallele Anordnung geben kann. Den Schülern wird erläutert, dass die antiparallele Ausrichtung energetisch um einen kleinen Betrag ungünstiger ist, als die parallele Ausrichtung, weshalb sich immer etwas mehr Atomkerne im energieärmeren, parallelen Zustand befinden. Außerdem richten sich die Kerne nicht vollständig parallel aus. Vielmehr „taumeln“ sie um ihre Rotationsachse – sie präzidieren. Mit den beiden zur Verfügung stehenden Gyroskopen können die Schüler dieses Präzidieren erfahren. Nun wird den Schülern erklärt, dass durch einen starken Impuls senkrecht zum angelegten Magnetfeld die Kerne dazu gebracht werden können, aus dem parallelen in den antiparallelen Zustand zu springen. Dieser Zustand ist aber weniger stabil, und so kehren sie im Laufe von

Sekunden wieder in ihren Ausgangszustand zurück. Dieses Zurückspringen kann man mit Hilfe der Kippkreisel schön illustrieren und den Schülern erfahrbar machen. Wie viel Energie nun notwendig ist, um die Kerne zum „Umklappen“ zu bringen, hängt von der unmittelbaren Umgebung der Kerne ab, also letztlich davon, woran dieses Wasserstoffatom gebunden ist. Damit kann man durch Messen dieser Resonanzfrequenzen Rückschlüsse auf die Umgebung der verschiedenen Wasserstoffkerne ziehen – und damit auf den Bau des Moleküls.

Da unser Körper zu fast 100% aus Kohlenwasserstoffen und Wasser besteht, also Verbindungen, deren maßgeblicher Bestandteil Wasserstoffatome sind, eignet sich die Technik abgesehen von der Strukturaufklärung von Molekülen auch als bildgebendes Verfahren in der Medizin.

8.6. Massenspektrometrie

Die Massenspektrometrie (MS) ist keine spektroskopische Methode – sie beruht also nicht auf der Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Strahlung und Materie, sondern auf dem Verhalten eines Stoffes und Bruchstücken seiner Bestandteile im Magnetfeld. Man kann per MS die Molmasse eines anorganischen oder organischen Stoffes bestimmen, die Elementarzusammensetzung, also die Summenformel ermitteln, die Struktur von organischen Molekülen aufklären oder eine Isotopenanalyse vornehmen (Budzikiewicz & Schäfer, 2012, S. 53). In der Regel wird die Massenspektrometrie zur qualitativen Bestimmung, also zur Identifizierung eines Stoffes eingesetzt. Häufig findet man sie heute in Kombination mit der Gaschromatographie als GC-MS, wobei die Säule das Gemisch trennt und mit der Massenspektrometrie die Fraktionen dann identifiziert werden. Massenspektrometer benötigen eine aufwändige Infrastruktur (Kühlung mit flüssigem Helium, Vakuum von 10^{-4} bis 10^{-8} Torr (Skoog et al., 2013), hoher Strombedarf). Grundsätzlich werden im Massenspektrometer Substanzen zunächst zum Kation ionisiert und mit Hilfe negativ geladener Platten beschleunigt. Der Kationenstrahl wird dann durch ein sehr starkes Magnetfeld zu einer gebogenen Flugbahn abgelenkt. Bei einer gegebenen Magnetfeldstärke ist der Grad der Ablenkung, den das Ion erfährt, nur abhängig von Masse und Ladung des Teilchens. Leichtere und / oder stärker geladene Teilchen werden stärker abgelenkt, schwerere oder wenig geladene weniger stark. Aus den auftreffenden Ionen können dann Rückschlüsse auf die Struktur der ursprünglichen Substanz gezogen werden.

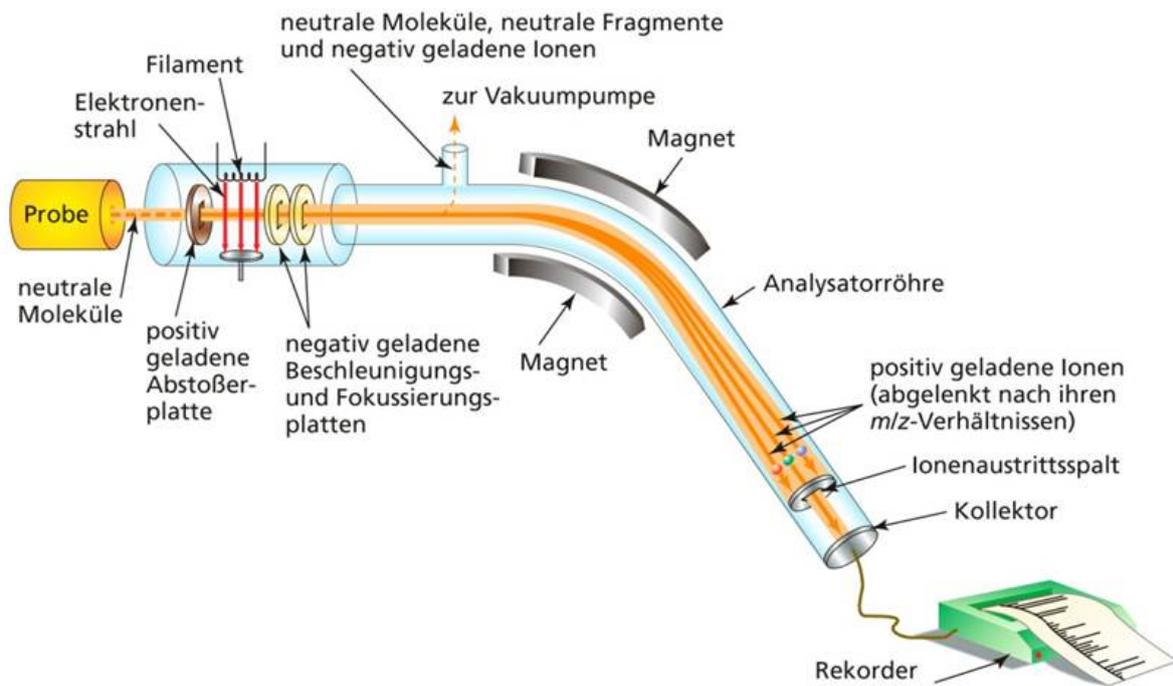


Abbildung 57: Aufbau eines Massenspektrometers⁶⁵

Ionisierung

Um im MS analysiert werden zu können, müssen Stoffe zunächst Ionisiert werden – in der Regel zu Kationen. Es gibt dabei verschiedene Verfahren, um Elektronen aus einem Molekül zu entfernen. Am häufigsten wird die Elektronen-Ionisation durchgeführt, bei der die Substanz zunächst verdampft wird. Ein hochenergetischer Elektronenstrahl wird dann auf die Moleküle geschossen und die auftreffenden Elektronen schlagen weitere aus dem Molekül heraus. Andere Methoden nutzen energiereiche Photonen z. B. aus Laserquellen (Photo- oder Laserionisation) oder stark inhomogene elektrische Felder (Feldionisation) um die Ionisierung der Probe zu erreichen. Chemische Ionisation wird bewirkt, indem Hilfs-Reaktanden hinzu gefügt werden und eine Ionisierung durch chemische Reaktion erreicht wird (Günzler & Williams, 2001, S. 597). Bei verschiedenen so genannten Desorptionsverfahren werden die Substanzen auf feste Oberflächen (*Targets* oder *Emitter*) aufgebracht und mit Lasern beschossen oder einem elektrischen Feld ausgesetzt. Große Proteine zum Beispiel können mit Sprayverfahren ionisiert werden. Die Elektrospray-Ionisation (ESI) wurde durch John B. Fenn 1984 entwickelt und 2002 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet. Beim Elektrospray-Verfahren wird die Protein-Lösung bei Atmosphärendruck zerstäubt, indem ein hohes elektrisches Feld angelegt wird. Es verursacht ein Zerplatzen der Tröpfchen, sodass ein Aerosol aus dem Solvens und den zu analysierenden Molekülen entsteht (Otto, 2006). Der Zerfall in noch kleinere Tröpfchen ergibt schließlich hoch geladene Ionen (Budzikiewicz & Schäfer, 2012, S. 26). In der Regel entstehen bei all diesen Verfahren Molekülkationen, die ein ungepaartes Elektron haben, also Radikal-Kationen sind. Es können aber auch

⁶⁵Wiedergabe nach (Bruce, 2011, S. 477) mit Genehmigung von Pearson Deutschland.

mehrfach geladene Kationen oder Anionen entstehen (Budzikiewicz & Schäfer, 2012, S. 16). Da der Verlust eines Elektrons im Molekül in der Regel mit der Schwächung der Bindungen insgesamt einhergeht, kommt es in der Folge zu weiteren Zerfallsreaktionen. Dabei werden die jeweils schwächsten Bindungen gespalten bzw. die stabilsten Produkte gebildet (Bruice, 2011, S. 476). Im Umkehrschluss kann aus den detektierten Bruchstücken dann darauf geschlossen werden, welche Bindungen im Ausgangsmolekül bestanden haben und so im Idealfall auf den Bau des gesamten Moleküls rückgeschlossen werden. Bei der Ionisierung entstandene neutrale Radikale oder Bruchstücke können nicht weiter detektiert und müssen abgepumpt werden. Die kationischen Teilchen hingegen werden in einem elektrischen Feld von 800 bis 8000 V (Otto, 2006, S. 327) stark beschleunigt und gelangen in die Analysator-Röhre.

Trennung der Ionen im Analysator und Detektion

Als geladene Teilchen können die Ionen abgelenkt werden. Hierfür gibt es viele verschiedene Methoden wie elektrische Felder (z. B. in Quadrupol-Massenspektrometern, in denen eine Wechselspannung angelegt wird) oder magnetische Felder. In Magnetfeldgeräten wird der Ionenstrahl durch eine gebogene Röhre geleitet, die von einem sehr starken Elektromagneten umgeben ist, dessen magnetische Feldstärke U geregelt werden kann (Abbildung 58). Durch das Feld werden die Kationen abgelenkt, wobei die so genannte magnetische Kraft F_M auf sie einwirkt.:

$$F_M = B \cdot z \cdot e \cdot v \quad (12)$$

Mit: F_M = magnetische Kraft B = magnetische Feldstärke z = Ladung des Teilchens
 e = Elementarladung v = Geschwindigkeit des geladenen Teilchens

Der Ablenkung entgegen wirkt die Zentrifugalkraft F_Z :

$$F_Z = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (13)$$

Mit: F_Z = Zentrifugalkraft v = Geschwindigkeit des geladenen Teilchens
 z = Ladung des Teilchens r = Radius der Kreisbahn
 m = Masse des Teilchens [u]

Damit das Teilchen die gekrümmte Bahn bis zum Detektor durchlaufen kann, muss F_M gleich F_Z sein. Unter Berücksichtigung der kinetischen Energie des Teilchens erhält man folgende Beziehung:

$$\frac{m}{z} = \frac{B^2 \cdot r^2 \cdot e}{2U} \quad (14)$$

Der Term $\frac{m}{z}$ wird als *Masse-zu-Ladungs-Verhältnis* bezeichnet. Aus der Gleichung wird deutlich, dass neben diesem Verhältnis noch die angelegte Spannung und die magnetische Feldstärke den Radius der Flugbahn des Teilchens bestimmen. Hält man diese – und damit das magnetische Feld – konstant, so ist der Radius nur durch das

Masse-zu-Ladungs-Verhältnis des Teilchens gegeben. Letztendlich bestimmt also für ein gegebenes Magnetfeld das Verhältnis aus Masse m eines Teilchens zu seiner Ladung z , wie stark es im Vergleich zu den anderen Teilchen abgelenkt wird. Es gibt Geräte, die den Grad dieser Ablenkung messen. In der Praxis wird aber in der Regel die magnetische Feldstärke variiert und der Ionenstrahl fokussiert. „Die Stärke des Magnetfeldes wird nach und nach heraufgeregelt, so dass Fragmente mit zunehmend größerem $\frac{m}{z}$ -Verhältnis durch die Röhre und den Austrittsspalt gelenkt werden“ (Bruce, 2011, S. 477). Der Detektor registriert dann „die relativen Mengen von Fragmenten mit bestimmten $\frac{m}{z}$ -Verhältnissen“ (ebd.) als so genannte Massezahl.

Masse-zu-Ladung-Verhältnis und Schlussfolgerungen

Aus der Massezahl kann nun auf das $\frac{m}{z}$ -Verhältnis des Ions zurückgeschlossen werden: Die meisten Ionen sind einfach geladen, sodass das $\frac{m}{z}$ -Verhältnis gleich der Massenzahl des Ions ist. Die Massezahl doppelt geladener Ionen ist bei gleicher Masse des Ions dem entsprechend halb so groß. Das Ion mit der größten Masse im Spektrum ist in der Regel das Molekülion, also das einfach positiv geladene Molekül selbst. Ob es sich um das Molekülion handelt, kann z. B. festgestellt werden, indem man ermittelt, ob die kleineren Bruchstücke aus diesem Molekülion hervorgegangen sein können. Aus dem exakt gemessenen Massewert des Molekül-Ions kann man auf seine **Elementarzusammensetzung** schließen, indem man verschiedene Elementkombinationen so lange durchprobiert, „bis man einen dem Masseergebnis entsprechenden Wert erhält. Entsprechende Programme gehören heute zur Standardausrüstung jedes Massenspektrometers“ (Budzikiewicz & Schäfer, 2012, S. 76). Insgesamt existieren viele bewährte Regeln zur Interpretation von Spektren, die z. B. aus Fragmentierungsmustern von Reinstoffen gewonnen wurden. Durch deren Anwendung und logische Kombination kann man im Idealfall von den detektierten Bruchstücken auf die gesamte **Struktur** eines Moleküls rückschließen. Zur eindeutigen **Identifikation** dienen Vergleichsspektren mit Reinstoffen. Weiterhin kann man durch MS eine **Isotopenanalyse** durchführen, also die relative Häufigkeit verschiedener Isotope eines bestimmten Elements feststellen. Grundlage hierfür ist, dass die meisten Elemente verschiedene Isotope und diese unterschiedliche atomare Masse haben. Ein Molekülion AB^+ kann daher in so vielen Varianten vorkommen, wie sich Kombinationen aus den Isotopen von A und B ergeben. Entsprechend viele Signale erhält man im Spektrum. Umgekehrt kann man aus der Häufigkeit dieser Kombinationen auf das Isotopenverhältnis in der untersuchten Substanz rückschließen, was in der Archäologie die Altersbestimmung von Fundstücken ermöglicht oder auch zur Doping-Analytik genutzt werden kann (Flenker, 2012).

Wie weist man schnell und sicher Drogen nach?

Station 10: Massenspektrometrie

Lernziele

Die Schüler kennen die Massenspektrometrie als eine Methode, um die Molekülmasse zu bestimmen, die Struktur eines Stoffes aufzuklären oder das Isotopenverhältnis in einer Substanz zu ermitteln. Sie verstehen, dass Substanzen ionisiert und die gewonnenen Kationen durch Anlegen eines elektrischen Feldes beschleunigt werden. Sie können beschreiben, dass die Ablenkung der Ionen im Magnetfeld von der Masse und der Ladung der Ionen abhängig ist. Die Schüler erreichen am Modell eine Optimierung der Auftrennung, indem sie verschiedene Parameter variieren. Sie erkennen, dass die Neigung der Platte dabei der Beschleunigungsspannung entspricht und die Stärke des Föns der magnetischen Feldstärke.

Didaktische Überlegungen

Die Schüler kennen Fliehkraft und Magnetismus aus dem Alltag, aus dem Sachunterricht der Grundschule und aus dem Natur- und Technik-Unterricht in der Unterstufe. Dieses Grundwissen sollte für das Verständnis der Methode völlig ausreichen. Die Lorentzkraft bzw. magnetische Kraft kennen sie aus dem Physikunterricht der 9. Jahrgangsstufe. Erst für Jahrgangsstufe 11 sieht der Lehrplan für Physik im Gymnasium die Behandlung von statischen magnetischen Feldern vor und ermöglicht so ein tieferes Verständnis der wirkenden Kräfte.

Da das beschriebene Verfahren apparativ sehr aufwändig und Messungen somit teuer und zudem zeitaufwändig sind, kann im Rahmen des LLL kein Spektrum gemessen werden. Stattdessen wird ein Funktions-Modell (Sommer et al., 2017) verwendet. Die Informationen über die Funktionsweise des Verfahrens müssen grundsätzlich vom Betreuer kommen, da hierzu kein Vorwissen von den Schülern erwartet werden kann. Gesprächsanlass können die Abbildungen auf dem Poster bieten. Um einen monotonen Vortrag zu vermeiden, ist es an dieser Station besonders wichtig, die Schüler immer wieder durch Fragen einzubeziehen. Allerdings ist das Funktionsmodell sehr einfach aufgebaut und so können sich die Schüler die Funktionsweise in der Regel selbst ermitteln. Die Schüler sollten dazu angehalten werden, die Analogie zwischen der Methode und dem Modellexperiment selbst zu erläutern.

Ablauf

Mit Hilfe der Abbildungen auf dem Poster wird den Schülern verdeutlicht, dass in der Drogenfahndung eine schnelle und eindeutige Identifikation und ein empfindlicher Nachweis der Drogen besonders wichtig ist. Hinter Namen wie *Spice*, *Krypton* oder *Charge+* verstecken sich oft Gemische komplexer organischer Moleküle, die zunächst getrennt und dann identifiziert werden müssen. Auch vor Gericht muss man zum Beispiel eindeutig nachweisen können, dass ein Beschuldigter Drogen im Blut hatte. Für eine derart anspruchsvolle Analytik ist der Einsatz einer HPLC (High-Pressure-Liquid-Chromatography) mit anschließender Massenspektrometrie am geeignetsten. Solche Messungen können im besten Fall innerhalb von 12 Minuten abgeschlossen

sein (Glöckler, 2012). Allerdings ist der apparative Aufwand erheblich. Den Schülern wird dieser beschrieben und erklärt, dass im LLL auf ein Funktionsmodell ausgewichen wird. Die Schüler werden an das Netzteil geführt das die Spannung für den Fön liefert. Der Regler für die Spannung wird gezeigt und ein Maximum von 12 Volt vorgegeben. Die Schüler erhalten die Aufgabe, mit dem Modell die Kügelchen im Probenglas möglichst optimal voneinander zu trennen und dabei herauszufinden, wie viele verschiedene Typen von Kugeln es gibt.

Im Weiteren sollen die Schüler sich eigentätig erarbeiten, wie das Modell funktioniert und die Trennung selbst ausprobieren. Sie geben die Kugeln in den dafür vorgesehenen Trichter (Abbildung rechts, X). Durch Verändern der Neigung der Platte kann die Beschleunigung der Kugeln aus der Öffnung heraus (roter Pfeil) gesteuert werden. Sobald die Kugeln die Öffnung verlassen, werden sie vom Luftstrom des Föns (hellblauer Pfeil) fortgeblasen. Die Stärke des Luftstroms kann über sie angelegte Spannung geregelt werden.

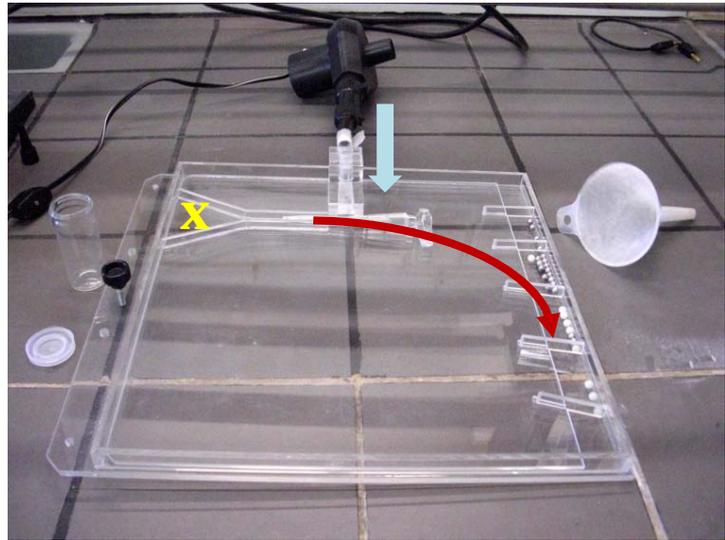


Abbildung 58: Funktionsmodell der Massenspektrometrie

Der Betreuer achtet lediglich darauf, dass beim Herausheben der Unterteilung die Plexiglasstege nicht brechen und dass die Kugeln nicht verloren gehen, sondern vorsichtig wieder in das Probengläschen gegeben werden. Die Schüler werden dazu angehalten, das Funktionsprinzip der Methode zu artikulieren. Sie dürfen so lange probieren, bis sie eine gute Auftrennung erreicht haben. Mit Hilfe einer Waage wird überprüft, ob die Masse der Kugeln aus den drei gewonnenen Fraktionen wirklich unterschiedlich ist und damit die Trennung funktioniert hat und die Schüler die Parameter gut variiert haben.

An der Grafik auf dem Poster erläutert der Betreuer nun, dass auch beim echten Massenspektrometer durch Variation analoger Größen das Maß der Auftrennung beeinflusst wird. Die Funktionsweise eines Massenspektrometers wird erarbeitet: Zunächst wird die Ionisierung erklärt und verdeutlicht, dass dabei Kationen und verschieden große kationische Bruchstücke entstehen. Die Schüler werden gefragt, wie man die Kationen beschleunigen könnte. Die Schüler können leicht darauf schließen, dass negative Ladungen die Kationen anziehen und dies zur Beschleunigung genutzt werden kann. Die Elektrospray-Ionisation wird als Möglichkeit vorgestellt, um große Proteine schonend zu ionisieren. Die Kationen werden nach ihrer Beschleunigung in ein starkes Magnetfeld geleitet, das sie auf eine gebogene Bahn ablenkt. Die Schüler werden aufgefordert, auf der Grundlage ihrer Erfahrungen mit dem Modell eine Vermutung aufzustellen, wie sich die verschiedenen Kationen-Bruchstücke im Magnetfeld verhalten werden und warum gerade so. Wenn die Schüler keine

Vermutung formulieren können, wird gesagt, dass die Bruchstücke aufgetrennt werden und danach gefragt, warum. Die Schüler werden zu der Erkenntnis hingeleitet, dass einerseits die Größe der Ladung für die Stärke der Anziehung durch das Magnetfeld eine Rolle spielt, und dass andererseits schwerere Teilchen durch die wirkende Zentrifugalkraft weniger abgelenkt werden als gleich geladene, aber leichtere Teilchen. Die Schüler werden angehalten, Analogien und Unterschiede zwischen Funktionsmodell und realem Verfahren zu artikulieren. Mit Hilfe der Abbildungen auf dem Poster werden mögliche Erkenntnisse, die aus den Daten der MS gezogen werden können, zusammengefasst. Anwendungsbeispiele wie die Altersbestimmung von Ötzis Besitz oder die Analyse von Eiskernen zur Bestimmung der Menge des Inlandeises in verschiedenen geologischen Zeitaltern werden besprochen.

8.8. Ergebnisse der Erprobung universitärer Angebote

Die vorgestellten Kooperationsmöglichkeiten zwischen Seminarfächern und Universität zeigen, wie vielfältig eine solche Zusammenarbeit angelegt sein kann. Die durchweg positiven Rückmeldungen von Schülern und Lehrkräften zu Veranstaltungen wie *P-Seminartag*, *Lehr-Lern-Labor Analyseverfahren* oder der Lehrerfortbildung *Forschen lernen* dokumentieren den Erfolg der vorgestellten Konzepte. All diese Veranstaltungen wurden letztlich durch eine einzelne Person mit Halbtags-Stelle organisiert. Diese wurde teilweise durch einen Laboranten (Chemie-Shows), durch Doktoranden verschiedener Arbeitskreise (P-Seminartag) bzw. einige Studierende (Betreuung LLL) unterstützt. Damit wird belegt, dass ein sehr umfangreiches Angebot für Seminarfächer an der Fakultät geleistet werden kann, wenn entsprechendes Personal hierfür zur Verfügung gestellt wird und vorhandene Infrastruktur genutzt werden kann. Angesichts des wachsenden Konkurrenzdrucks zwischen den Universitäten einerseits und Bestrebungen zur besseren Vernetzung von Schule, Universität und Gesellschaft andererseits bleibt zu hoffen, dass das Beispiel der Würzburger Fakultät für Chemie und Pharmazie auch von anderen Fakultäten und Universitäten übernommen wird, sodass W- und P-Seminare flächendeckend universitäre Ansprechpartner – und damit externe Partner – finden.

9. Schlussfolgerungen und Ausblick

Theoretische Forschungsbeiträge der Arbeit

Wie beschrieben wurde im Rahmen dieser Studie das Modell professioneller Kompetenz von Lehrkräften erstmals für **Chemie-Lehrkräfte** ausführlich spezifiziert und entlang aktueller Literatur (Borowski et al., 2011; Borowski et al., 2014; Borowski et al., 2010; H. E. Fischer et al., 2012; Gess-Newsome, 2015; M. Jüttner & B. Neuhaus, 2013; M. Jüttner & B. J. Neuhaus, 2013; Schmelzing, Wüsten, Sandmann, & Neuhaus, 2008; Tepner et al., 2012) überarbeitet. Insbesondere die Definition des COACTIV-Modells von **Organisationswissen** OW und **Beratungswissen** BW (Kunter et al., 2011) wurden theoriebasiert ausgeschärft und erweitert. Ausgehend von der Fragestellung wurden für die Betrachtung des Professionswissens die Dimensionen *Anforderungsniveau* und *Fachspezifität* entwickelt:

Um den Grad der **Anforderungen** von Implementationen an die professionellen Kompetenzen von Lehrkräften abbilden zu können, wurde ein entsprechendes Kategoriensystem entwickelt und angewandt. Hiermit wird ein Desiderat erfüllt, dass Goldenbaum (2012) aufgezeigt hat. Das hier vorgestellte Kategoriensystem scheint geeignet, um auch für andere Themenbereiche und Fragestellungen genutzt zu werden. Wünschenswert wäre dies zum Beispiel für den *klassischen* Chemieunterricht, um eine Vergleichs-Basis zu haben, an der besondere unterrichtliche Situationen gespiegelt werden können. Weiterhin sollte über die Kategorisierung nach Anforderungsniveau für alle denkbaren unterrichtlichen Settings wichtige Punkte identifiziert werden können, in denen Lehrkräfte in Bezug auf ihre professionelle Kompetenz nach eigenen Angaben besonders gefordert oder auch überfordert sind. Über die deduktiven Haupt-Kategorien können dann die fehlenden professionellen Kompetenzen identifiziert und klassifiziert werden.

Inwiefern Wissens-Facetten der professionellen Kompetenzen von Lehrkräften fachspezifisch sind oder nicht, wird von den Autoren der COACTIV-Studie nur oberflächlich und punktuell betrachtet (Kunter et al., 2011). Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Aspekt der Fachspezifität des Professionswissens von Chemie-Lehrkräften ausführlich diskutiert. Daraus resultierend wurde das Didaktische Wissen der Lehrkräfte in Bezug auf seine **Fachspezifität** modelliert (Abbildung 6). Es wurde dadurch aufgezeigt, dass und inwiefern CK und PCK von Lehrkräften im Gymnasium auch über ihre Unterrichtsfächer hinaus vorhanden ist bzw. sein muss. Aus den ermittelten Ergebnissen konnte schließlich ein Modell des fachspezifischen und fachunabhängigen **Seminarfachwissens** dargestellt werden, also des Wissens, das Lehrkräfte für die erfolgreiche Durchführung von W- und P-Seminaren benötigen.

Praktische Schlussfolgerungen

In Bezug auf die Seminarfächer zeichnen die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie ein klares Bild davon, welche Aspekte des neu eingeführten Unterrichtsformats für die Lehrkräfte besondere Herausforderungen bargen. Auf der Grundlage ihres Professionswissens gelang es den Lehrkräften meistens, Lösungen für diese Herausforderungen zu finden: Kommunikationswege mit den Schülern wurden erschlossen, ein Zeitmanagement verabredet, externe Partner wurden gefunden, Zielvorgaben für die Schüler formuliert und deren Einhaltung eingefordert und schließlich Kriterien für die Bewertung entwickelt. Neben den vielfältigen Beispielen für eine erfolgreiche Umsetzung der Vorgaben zeigte sich aber auch, dass wiederholt zentrale Forderungen für die Seminarfächer nicht umgesetzt und damit die eigentlichen Ziele nicht erreicht wurden. Außerdem mussten die ursprünglich vorgegebenen Konzepte maßgeblich verändert werden, um umsetzbar zu sein. Damit kann die top-down-Implementation der Seminarfächer in Bayern entsprechend der Maßgaben von Demuth et al. (2008) nicht als erfolgreich angesehen werden. Neben konzeptuellen Gründen sind als Ursache für das Scheitern der Implementation primär fehlende professionelle Kompetenzen der Lehrkräfte anzusehen:

Für die **P-Seminare** stellten sich beide zentralen Ziele des Seminars, also das Erreichen einer Berufswahl-Kompetenz und das Erlangen einer Berufswelt-Kompetenz als problematisch heraus. Um die Schüler zu einer Berufswahlkompetenz zu führen fehlt den Lehrkräften zentrales (und letztlich fachfremdes) Wissen zu den vielfältigen Studiengängen und Berufsausbildungen. Wie schon Hertel et al. (2009) festgestellt haben, sind die hierfür notwendigen professionellen Kompetenzen so umfangreich, dass sie von den Lehrkräften auch nicht auf dem Weg von Fort- und Weiterbildungen gewonnen werden können. Auf der Basis ihres Beratungswissens und ihrer guten Kenntnis der Schüler können Lehrkräfte den Jugendlichen in beschränktem Rahmen einen Anstoß zum Nachdenken über deren individuelle Ziele geben. Um eine Berufswahlkompetenz zu erreichen, muss aber externe professionelle Expertise eingeholt werden. Im Gegensatz zu den Intentionen des Kultusministeriums (ISB, 2007) bleibt die Berufsorientierung in der Regel ein isolierter Abschnitt des P-Seminars, der häufig von der Schule mit Externen organisiert wird und damit vom eigentlichen Projekt abgekoppelt stattfindet. Die Themen Berufswahl und Berufswelt werden also nur selten verschränkt.

Als zentrale Berufswelt-Kompetenz sollen die Schüler sich Methoden des Projekt-Managements aneignen. Die Aussagen der Lehrkräfte machen sehr deutlich, dass sie diesbezüglich über keine professionellen Kompetenzen verfügen. In einzelnen Fällen gelingt es den Lehrkräften, sich die entsprechende fachfremde Expertise anzueignen, sie didaktisch umzusetzen und so das P-Seminar im angedachten Sinne zum Erfolg zu führen. In den meisten Fällen aber wird zwar ein Projekt – auch erfolgreich – verfolgt, das Projektmanagement bleibt aber außen vor. Damit fehlen nicht nur das reflexive Einnehmen einer Metaebene und das Nachdenken über die Prozesse im Projekt, es fehlt auch die Struktur desselben. Dadurch kommt es zu Konflikten in Bezug auf Motivation, Disziplin und Erbringen von Leistung, und in der Folge dann zu

Problemen beim Erreichen des Projektziels, aber auch in der Bewertung der Schüler-Leistungen. Ein Beherrschen geeigneter Methoden des Projektmanagements sowie didaktischer Ansätze zur Vermittlung derselben sind also unabdingbar für die erfolgreiche Durchführung eines P-Seminars.

Auch für die **W-Seminare** zeigte sich, dass die ursprünglich vom KM vorgegebene Konzeption (ISB, 2007, 2011) z. B. in Bezug auf eine fachlich orientierte Input-Phase nicht zielführend ist. Auch hier entwickelten viele Lehrkräfte erfolgreich alternative Vorgehensweisen. Als herausfordernd wurden insbesondere die Hinleitung der Schüler zu einer geeigneten Fragestellung und das Finden einer passenden und umsetzbaren experimentellen Herangehensweise empfunden. Diesbezüglich äußerten viele Lehrkräfte, dass sie selbst wenig Vorerfahrung in Bezug auf Analyseverfahren der Chemie mitbrachten und die meisten der Methoden in der Schule zudem nicht zugänglich sind. Daher suchten die Lehrkräfte Beratung bei externen Partnern, was in ländlichen Gegenden als schwieriger empfunden wurde als in Schulen mit städtischem Kontext. Besonders geeignete Ansprechpartner scheinen in diesem Zusammenhang wie vermutet Universitäten zu sein. Welche vielfältigen Hilfestellungen diese für W-Seminare leisten können, wurde in dieser Arbeit aufgezeigt. Zum Beispiel ein Zugriff auf fachliche Literatur-Datenbanken, das Ermöglichen von Untersuchungen in individuellen Labortagen oder der Besuch des Lehr-Lern-Labors *Analyseverfahren* bedienen den von den Lehrkräften geäußerten Bedarf. Damit gelang die Organisation des experimentellen Teils der Seminarfächer in der Regel, womit ein wichtiger Aspekt naturwissenschaftlichen Arbeitens realisiert wurde. An einem anderen Aspekt hingegen scheiterten die Lehrkräfte nach eigener Aussage mehrheitlich: Nur wenige der W-Seminararbeiten beantworteten eine Frage oder gingen einer Hypothese nach. Die meisten behandelten ein Thema. Daraus lässt sich schließen, dass bei den Lehrkräften Wissen über die Prinzipien naturwissenschaftlichen Forschens (NOSI) entweder nicht vorhanden war, oder sie dieses Wissen in den W-Seminaren nicht umsetzten. Damit bestätigt die vorgestellte Studie bisherige diesbezügliche Forschungsergebnisse (siehe z. B. Abd-El-Khalick et al., 2004; Abd-El-Khalick & Lederman, 2000; Höhle et al., 2003; Norman G. Lederman, 1992; Neumann, 2011; Neumann & Kremer, 2013). In der Folge fehlte den einzelnen W-Seminararbeiten der Echtheitscharakter und somit den Schülern der Antrieb für das Forschen. Daraus folgte schließlich ein Mangel an Motivation, was zu verminderter Qualität der Ergebnisse und einer letztlich nicht gelungenen Wissenschaftspropädeutik führte.

Ausgehend von den in der Studie identifizierten Problemfeldern ergeben sich drei Ansatzmöglichkeiten für eine **Verbesserung der Qualität** der Seminarfächer in Bayern: a) Die Seminar-Konzepte müssen überarbeitet werden, b) die Kompetenzen der Lehrkräfte müssen in allen Ausbildungsabschnitten gezielt erweitert werden und c) die notwendigen Ressourcen müssen zur Verfügung gestellt werden.

Konzeptuell wurde für W-Seminare ein zeitlich und methodisch umstrukturierter Ablauf entwickelt. Dieser sieht eine starke Verkürzung der fachlichen Input-Phase zugunsten der Wissenschaftspropädeutik vor. Durch Einsatz vielfältiger und zum Teil für das W-Seminar neu entwickelter Methodenwerkzeuge (Laborschnitzeljagd, DIMs)

können die Schüler erfolgreich zu einer experimentell beantwortbaren Fragestellung hingeleitet werden. Die Laborarbeit kann in der vorgeschlagenen Form sicher und zeitoptimiert organisiert werden. Von den Schülern wird stringent Leistung eingefordert bei gleichzeitig maximaler Übergabe der Verantwortung. Für P-Seminare empfehlen wir konzeptuell eine Trennung zwischen Berufsfeld-Orientierung und Projekt. Angesichts der in Bayern für die Jahrgangsstufe 9 vorgesehenen fakultativen Berufspraktika scheint es sinnvoll, die Orientierung über mögliche Berufsfelder als Blockveranstaltung(en) in die 10. Klasse zu verschieben. Auf diese Weise profitieren auch jene Schüler, die das Gymnasium schon nach der 10. Klasse verlassen wollen. Die in Jahrgangsstufe 11 freiwerdenden Ressourcen empfehlen wir, für die Umsetzung der Projekte selbst und für eine Seminarkurs-Fahrt der P-Seminare zu nutzen. Angesichts der in dieser Studie offenbar gewordenen Notwendigkeit für Raum und Zeit zur zwischenmenschlichen Begegnung scheint eine solche Fahrt pädagogisch, aber auch für den Erfolg des Projekts angeraten. Dieser hängt, wie beschrieben, aber vor allem davon ab, ob ein Projektmanagement vermittelt und umgesetzt werden kann – und dies wiederum ist nur möglich, wenn bei den Lehrkräften entsprechende **professionelle Kompetenzen** vorhanden sind. Positiv-Beispiele zeigen, dass eine für das P-Seminar geeignete Auswahl von Projektmanagement-Methoden im Rahmen von **Fort- und Weiterbildungen** für die Lehrkräfte erwerbbar sind. Die Entwicklung einer solchen Lehrerfortbildung für P-Seminare in den Naturwissenschaften ergibt sich als Desiderat aus dieser Arbeit.

Für die W-Seminare ist der Erwerb einer analogen Kompetenz im Bereich der Wissenschaftspropädeutik nicht in gleichem Maße über Lehrer-Fortbildungen erreichbar (hierzu siehe auch Abd-El-Khalick & Lederman, 2000). Hier scheint es vielmehr naheliegend, die **universitäre Ausbildung** gezielter so auszurichten, dass angehende Lehrkräfte während der eigenen Zulassungsarbeit zum ersten Staatsexamen ausreichende NOSI-Kompetenzen erwerben. Weiterhin wäre die Integration einer breiten Auswahl von apparativen analytischen Verfahren in die Lehramts-Praktika während des Studiums wünschenswert. Verantwortlich für die universitäre Vermittlung der naturwissenschaftlichen Inhalte sind die Fachwissenschaften und die Fachdidaktiken. Eine Anbahnung von Projektmanagement-Kompetenzen in der universitären Ausbildung könnte in den Erziehungswissenschaften geleistet werden. Damit wird offensichtlich, wie wichtig eine gegenseitige Abstimmung von Fachwissenschaft, Fachdidaktiken und Erziehungswissenschaften für eine hochwertige Ausbildung der Lehrkräfte in Bezug auf die Seminarfächer ist – ein Aspekt, den auch die „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ anstrebt (BMBF, 2015). Die geforderte „Ausbildung aus einem Guss“ (ebd.) ist in Bezug auf die Seminarfächer bisher offensichtlich nicht gelungen und kann hoffentlich durch Ergebnisse dieser Arbeit mit angestoßen werden. Auch das professionelle Organisationswissen der Lehrkräfte sollte schon vor dem Referendariat verbessert werden, zum Beispiel durch die Integration außerschulischer Lernorte in die universitäre Ausbildung. Voraussetzung dafür ist natürlich, dass an den Universitäten Ressourcen zur Verfügung stehen, um als außerschulischer Lernort dienen zu können. Das M!ND-Center der Universität Würzburg verfolgt seit Jahren den Ansatz, die Ausbildung von Lehramts-

Studierenden mit Schülerlabor-Angeboten zu verknüpfen. Die Studierenden nehmen das Wissen um die Existenz und Leistung solcher außerschulischen Angebote später an ihre Schule mit und greifen als Lehrkraft gern darauf zurück – zum Beispiel im Rahmen der Seminarfächer.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass viele der für die Seminarfächer als notwendig identifizierten Aspekte professioneller Kompetenzen für das Gymnasium insgesamt nicht wirklich neu sind. Im Rahmen von außerunterrichtlichen und außercurricularen Veranstaltungen wie AG's, Projekten, Exkursionen etc. haben einzelne Lehrkräfte viele dieser Expertisen erworben und angewendet – allerdings als freiwilliges Additum. Nun aber ist dieses Wissen im Rahmen der Seminarfächer von allen Gymnasial-Lehrern in Bayern regulär gefordert. Zu einer professionellen Implementation der Seminarfächer gehört damit auch das zur Verfügung stellen entsprechender **Ressourcen**, um eine passende Fortbildung und Ausbildung ALLER Lehrkräfte zu ermöglichen – ein Aspekt, als Ergebnis der Implementations-Forschung immer wieder betont wird (Demuth et al., 2008; Goldenbaum, 2012; Gräsel & Parchmann, 2004) Alle Gymnasial-Lehrkräfte müssen Zeit und Gelegenheit erhalten, um sich in die Konzeption der Seminarfächer einzuarbeiten. Für jede unterrichtliche Neuerung gilt, dass erst durch ihre Umsetzung ausgehandelt wird, in welchen Bereichen das Konzept gegebenenfalls überarbeitet werden muss (Bastian, Combe, & Reh, 2002). Dies ist aber graduell etwas ganz anderes, als das Fehlen zentraler und für die Umsetzung notwendiger Kompetenzen, wie es im Fall der bayerischen W- und P-Seminare für das Fach Chemie belegt werden konnte. Es ist unprofessionell und fragwürdig, die Einarbeitung in das Konzept der Seminarfächer dem eventuellen Austausch zwischen den Kollegen und einem learning-by-doing zu überlassen. Vielmehr muss eine systematische Weiterbildung der Lehrkräfte in Bezug auf W- und P-Seminare stattfinden. Dazu sollten durchaus Formate gewählt werden, die von vornherein eine fächerübergreifende Kooperation innerhalb des Kollegiums – so genannte *professional learning communities* – vorsehen (Bastian et al., 2002) und damit den verpflichtenden und planmäßigen Austausch zwischen Kollegen. In diesem Rahmen bedarf es vor allem einer Fortbildung aller Gymnasial-Lehrkräfte in ausgewählten Methoden des Projektmanagements und ihrer unterrichtlichen Umsetzung. Angesichts der umfangreich notwendigen Organisation im Zusammenhang mit den Seminaren ist eine funktionierende Kommunikations-Infrastruktur sowie hierfür vorgesehene Zeit unabdingbar. Für den Kontakt zu außerschulischen Partnern sind Zeit und Geld für Exkursionen vorzusehen. Die bisher nur für Dozenten-Honorare zur Verfügung gestellten Gelder sollten von jedem Seminar frei nutzbar und somit auch für zusätzliches Material oder Exkursionen einsetzbar sein. Die ausreichende Ausstattung der Schulen für experimentelles chemisches Arbeiten über längere Zeit hinweg muss unabhängig davon selbstverständlich sein. Die Ausstattung der Universitäten mit Stellen, die als Ansprechpartner für Lehrkräfte und Organisatoren entsprechender Veranstaltungen bzw. Kooperationen dienen, muss sichergestellt werden.

Neben den identifizierten Schwächen der Seminare in Bezug auf ihre Konzeption bzw. in Bezug auf fehlendes Professionswissen bei den Lehrkräften konnten auch eindeutige **Stärken** dargestellt werden: Die den Lehrkräften eingeräumten Freiheiten werden grundsätzlich begrüßt. Sie wirken motivierend und schaffen damit Antrieb und Raum für Engagement. Die Vorgabe einer dezentralen Struktur und die Forderung nach methodischer Vielfalt in den Seminarfächern, sowie die vorgesehene Verantwortungsübergabe an die Schüler schafft eine stärker pädagogisch orientierte Unterrichtssituation. Mit dem Umstand, dass alle Gymnasial-Lehrkräfte Seminarfächer unterrichten müssen, wird eine Auseinandersetzung mit schülerzentrierten Methoden erzwungen und so potenziell Bewegung in das Denken und unterrichtliche Agieren aller Lehrkräfte gebracht. Seminarfächer können also Wegbereiter zu einer moderneren Pädagogik sein, da sie nur mit dezentraler Lehrhaltung gelingen können. Dadurch, dass die Seminarfächer für alle Fachrichtungen gleich konzipiert sind, wird zudem eine fächerübergreifende Kommunikationsebene geschaffen und letztlich die Zusammenarbeit zwischen den Kollegen gefördert. Insofern bergen die Seminarfächer auch Chancen zur Schulentwicklung insgesamt, wie z. B. Bastian et al. (2002) sie beschreiben.

Ausblick

Die Seminarfächer sind inzwischen fester und von Schülern, Lehrkräften, Eltern und Schulleitungen geschätzter Bestandteil der gymnasialen Ausbildung in Bayern. Nach Aussagen von Ministeriumsvertretern und Lehrerverbänden sollen sie auch bei der kommenden Neustrukturierung des bayerischen Gymnasiums beibehalten werden. Dem entsprechend muss die Ausbildung von Gymnasial-Lehrkräften die Vermittlung professioneller Aspekte eines Seminarfach-Wissens regulär vorsehen. Die Didaktik der Chemie der Universität Würzburg bietet im Freien Bereich seit mehreren Semestern Wahl-Module zu W- und zu P-Seminaren an. Weiterhin findet das Thema Seminarfächer Eingang zum Beispiel in die Grundvorlesung der Didaktik und das Studienbegleitende Praktikum. Angesichts dessen, dass Projektmanagement und Coaching aber völlig neue Wissensfelder für die meisten didaktischen Fachbereiche darstellen und eine stringente Wissenschaftspropädeutik – wie die vorliegende Arbeit belegt – bisher nicht gelingt, wäre eine deutlich weitergehende Berücksichtigung dieser Aspekte in der LPO I wünschenswert. Weiterhin müssen erkannte Defizite in der Implementation der Seminarfächer aufgegriffen und eine entsprechende Fortbildung aller Gymnasial-Lehrkräfte ermöglicht werden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass das große pädagogische und didaktische Potenzial der P- und W-Seminare ausgeschöpft wird. Dann können die Seminarfächer maßgeblich dazu beitragen, bayerische Gymnasial-Schüler wirksam auf Studium und Beruf vorzubereiten.

Literatur

- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., . . . Tuan, H.-L. (2004). Inquiry in Science Education: International Perspectives. *Science Education*, 88(3).
- Abd-El-Khalick, F., & Lederman, N. G. (2000). Improving science teacher's conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22(7), 665-701.
- Amthor, K. (2013). *Kooperation zwischen Universität und W-Seminar im Fach Chemie*. (Zulassungsarbeit zum 1. Staatsexamen), Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg.
- Angerer, B., Hamann, C., Rauhut, J. U., Siehr, I., & Stark, P. (2012). Hinweise zum Unterricht. Der Seminarkurs in der gymnasialen Oberstufe (Brandenburg).
- Anton, M. A. (2008). *Kompendium Chemiedidaktik*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Atkins, P. W. (2006). *Physikalische Chemie* (4. Aufl. ed.). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- BA, B. A. f. t. A. o. S. (1983). *Ideas for Egg Races & other practical problem-solving activities* (B. A. f. t. A. o. Science Ed.). London.
- Ball, D. L., Thames, M. H., & Phelps, G. (2008). Content Knowledge for Teaching. *Journal of Teacher Education*, 59(5), 389-407.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik - Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Barke, H.-D., & Harsch, G. (2001). *Chemiedidaktik Heute - Lernprozesse in Theorie und Praxis* (1. Ausg. ed.). Berlin: Springer Verlag.
- Bastian, J., Combe, A., & Reh, S. (2002). Professionalisierung und Schulentwicklung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaften*, 5(3), 418-435.
- Becker, G., Feindt, A., Meyer, H., Rothland, M., Stäudel, L., & Terhart, E. (2007). Guter Unterricht. Maßstäbe & Merkmale - Wege & Werkzeuge. *Friedrich Jahresheft*, XXV.
- Becker, H.-J., Glöckner, W., Hoffmann, F., & Jüngel, G. (1992). *Fachdidaktik Chemie*. Köln: Aulis-Verlag.
- Belitz, H.-D., & Grosch, W. (1992). *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Berlin: Springer-Verlag.
- Bertermann, R. (2017). *Einführung in die Flüssigkeits- und Festkörper-NMR-Spektroskopie*. Skript zur AClI-Vorlesung. Würzburg.
- Betz, M. (2013). *Entwurf eines W-Seminars zum Thema "CO2 und Treibhauseffekt"*. (Zulassungsarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien), Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Bindernagel, J. A. (2010). *Pedagogical Content Knowledge (PCK) von Lehrkräften im deutschen Chemieunterricht*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Block, A. (2010). *Fördert Projektunterricht die Lernmotivation von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe?* G. Verlag (Ed.)
- BMBF, B. f. B. u. F. (2015). *Vom Hörsaal ins Klassenzimmer - eine Qualitätsoffensive bringt die Lehrerbildung voran*. Bielefeld: W. Bertelsmann Verlag.
- Boggasch, M. (2011). *Wissenschaftspropädeutik in der Schule - Musik und Literatur als wissenschaftspropädeutisches Seminar in der gymnasialen Oberstufe*. (Dissertation), Universität der Künste Berlin, Mannheim/Neckarsulm.
- Böhn, D., & Obermaier, G. (2013). *Wörterbuch der Geographiedidaktik*. Braunschweig: westermann.
- Borowski, A., Carlson, J., Fischer, H. E., Henze, I., Gess-Newsome, J., Kirschner, S., & Driel, J. v. (2011). *Different Models and Methods to Measure Teachers' Pedagogical Content Knowledge* E. S. E. R. Association (Ed.) Retrieved from http://vbn.aau.dk/files/78578296/ebook_esera2011_Strand13.pdf#page=29
- Borowski, A., Fischer, H. E., Leutner, D., Neuhaus, B. J., Sumfleth, E., Tepner, O., & Wirth, J. (2014). Professionswissen in den Naturwissenschaften ProwiN. Retrieved 10.11.2014, from <https://www.uni-due.de/prowin/Fragestellung.shtml>

- Borowski, A., Neuhaus, B., Tepner, O., Wirth, J., Fischer, H. E., Leutner, D., . . . Sumfleth, E. (2010). Professionswissen von Lehrkräften in den Naturwissenschaften (ProwiN) - Kurzdarstellung des BMBF-Projekts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 341-349.
- Bosse, D. (2014). Lerngelegenheit Seminarkurs - wissenschaftspropädeutisches Arbeiten zwischen Hochschulvorbereitung und Berufsorientierung. In F. Eberle, B. Schneider-Taylor & D. Bosse (Eds.), *Abitur und Matura zwischen Hochschulvorbereitung und Berufsorientierung* (pp. 85-102). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Böttcher, W., & Liesegang, T. (2009). Das Verhältnis von Institutions- und Organisationsentwicklung und deren Bedeutung für Professionalität von Lehrenden. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill, R. Nickolaus & R. Mulder (Eds.), *Lehrerprofessionalität - Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung*. Weinheim: Beltz.
- Brosig, E., & Thaler, E. (2013). Das W-Seminar. Chance für Schüler, Studenten, Lehrer, Dozenten. *Praxis Fremdsprachenunterricht. Basisheft*, 10(2), 13-14.
- Brovelli, D., Niederhäusern, R. v., & Wilhelm, M. (2011). Auserschulische Lernorte in der Lehrpersonenbildung - Theorie, Empirie und Umsetzung an der PHZ Luzern. *Beiträge zur Lehrerbildung*, 29(3).
- Bruice, P. Y. (2011). *Organische Chemie*. München: Pearson.
- Budzikiewicz, H., & Schäfer, M. (2012). *Massenspektrometrie*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Campbell, N. A. (1996). *Biologie* (1. Aufl. ed.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Coenders, F., van Haren, P., de Beurs, C., & Gröger, M. (2002). Ein Blick über die Grenzen: Die Profilarbeit in den Niederlanden am Beispiel eines technischen Entwurfes im Fach Chemie. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 51(2), 6-9.
- Cropley, A. J. (2002). *Qualitative Forschungsmethoden - Eine praxisnahe Einführung*. Eschborn: Verlag Dietmar Klotz.
- Dauber, H. (2005). Der Lehrer in der Schule der Zukunft: Coach oder Pädagoge? In H. D. (Hrsg.) (Ed.), *Schulpraktikum vorbereiten: Pädagogische Perspektiven für die Lehrerbildung* (pp. 23-37). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- DeBoer, G. E. (2000). Scientific Literacy: Another Look at Its Historical and Contemporary Meanings and Its Relationship to Science Education Reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 582-601.
- Demuth, R. (2009). Chemie. In Arnold, Sandfuchs & Wiechmann (Eds.), *Handbuch Unterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Demuth, R., Gräsel, C., Parchmann, I., & Ralle, B. (2008). *Chemie im Kontext - Von der Innovation zur nachhaltigen Verbreitung eines Unterrichtskonzeptes*. Münster: Waxmann.
- DiFuccia, D.-S. (2011, 03.02.2011). *Fachlichkeit als wichtiger Baustein der Lehrerbildung*. [Vortrag].
- Donley, K. (2011). High School Science Research Classes. from <http://www.bvsd.org/researchseminar/Pages/default.aspx>
- Driel, J. H. v., Verloop, N., & Vos, W. d. (1998). Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
- Dubs, R. (2009). Leitungsstrukturen in Bildungsorganisationen. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill, R. Nickolaus & R. Mulder (Eds.), *Lehrerprofessionalität - Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung*. Weinheim: Beltz-Verlag.
- Eilks, I. (2002). Ein Modell zur Chromatografie. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 67(13), 27-29.
- Elsholz, M., & Mühlbauer, T. (2015). EXPERIMENTIEREN in den LLL@MIND. Retrieved 22.2.2016, from <http://www.mind.uni-wuerzburg.de/bildungspfade/experimentieren/>
- Engeln, K. (2004). *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken*. (Doktorgrad Dissertation), Christian-Albrechts-Universität Kiel, Kiel.
- Eyerer, P., & Krause, D. (2007). *Warum ist der Ernstcharakter bei der Projektarbeit so wichtig? Pädagogische Reflexionen unter Berücksichtigung neuerer Ergebnisse der Gehirnforschung*.

- Paper presented at the Motivation zum Lernen - TheoPrax-Tagung 2007, Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT, Pfinztal.
- FAU, T. F. d. F.-A.-U. E.-N. (2013, 09.04.2013). W- und P-Seminare. Retrieved 13.09.2013, from <http://www.tf.fau.de/infocenter/w-und-p-seminare/>
- Fend, H. (2008). *Neue Theorie der Schule, Einführung in das Verstehen von Bildungssystemen*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Fischer, B. (2012). *Inhaltliche Begleitung und qualitative Beschreibung eines Projekts innerhalb eines P-Seminars im Leitfach Chemie*. (Zulassungsarbeit zum 1. Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien), Universität Würzburg, Würzburg.
- Fischer, H. E., Borowski, A., & Tepner, O. (2012). Professional Knowledge of Science Teachers. In B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education: Springer International Handbooks of Education*.
- Flenker, U. (2012). *¹³C/¹²C-Verhältnisse endogener Steroide*. (Dissertation), Deutsche Sporthochschule, Köln.
- Flick, U. (2007). Zur Qualität qualitativer Forschung - Diskurse und Ansätze. In U. Kuckartz, H. Grunenberg & T. Dresing (Eds.), *Qualitative Datenanalyse: computergestützt* (pp. 188-209). Wiesbaden VS Verlag für Sozialwissenschaften - GWV Fachverlage.
- Franzen, G. (1975). *Wissenschaftspropädeutik und Mathematische Naturwissenschaften - Ein Beitrag zu einem Rahmencurriculum Physik am Oberstufen-Kolleg* (Vol. Heft 12). Stuttgart: Ernst Klett Verlag.
- Gärtner, H.-J., & Borstel, G. v. (2003). Kohlenstoffdioxid und Wettbewerb. Egg-Races in der Sekundarstufe I *Unterricht Chemie*, 78(14), 19.
- Gärtner, H.-J., & Scharf, V. (2001). Chemische Egg-Races in Theorie und Praxis.
- Gebauer, M. M. (2013). *Determinanten der Selbstwirksamkeitsüberzeugung von Lehrenden Schulischer Berufsalltag an Gymnasien und Hauptschulen*
- Geidel, E., & Weirauch, K. (2013). Selbstständiges Experimentieren mit Egg-Races.
- Gess-Newsome, J. (2015). A Model of Teacher Professional Knowledge and Skill Including PCK - Results of the Thinking from the PCK Summit. In A. Betty, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-Examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 28-42). New York: Routledge Taylor & Francis.
- Gesundheitswissenschaft, F. f. S.-u. (2009). Kooperation Schule & Universität. Retrieved 13.09.2013, from <http://www.sg.tum.de/service/schule-universitaet/>
- Gläser-Zikuda, M. (2013, 28.10.2013). [Workshop: Qualitative Inhaltsanalyse von Videoaufzeichnungen].
- Gläser-Zikuda, M. (2015, 11.02.2015). [Mailverkehr Zweitcodierung].
- Gläser, J., & Laudel, G. (2010). *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse* (4. Auflage ed.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften - Springer Fachmedien.
- Glöckler, E. P. (2012). Alkohol- und Drogenmissbrauch mit der Massenspektrometrie aufdecken. from www.laborpraxis.vogel.de/analytik/spektroskopie-und-photometrie/massenspektrometrie/articles/381684/
- Goldenbaum, A. (2012). *Innovationsmanagement in Schulen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Gräsel, C., & Parchmann, I. (2004). Implementationsforschung - oder: der steinige Weg, Unterricht zu verändern. *Unterrichtswissenschaft*, 32(3), 196-214.
- Gröger, M. (2002). Die "Seminarfacharbeit" an Thüringer Gymnasien. Ein Beispiel für eine langfristig vorbereitete "besondere Lernleistung". *MNU*, 55(6), 347-352.
- Gröger, M. (2003). *Erfahrungen von Lehrern bei der Betreuung von eigenständigen Schülerarbeiten im Studiehuis in den Niederlanden und beim Seminarfach in Thüringen*. Paper presented at the Außerschulisches Lernen in Physik und Chemie: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.
- Gröger, M., Scharf, V., & Schmitz, J. (2002). *Verhilft das Seminarfach in Thüringen zu einer stärkeren Ausprägung heute besonders geforderter Kompetenzen - Befunde aus Studien zum*

- naturwissenschaftlichen Bereich*. Paper presented at the Außerschulisches Lernen in Chemie und Physik, Flensburg.
- Grunert, C. (2011). Außerschulische Bildung. In H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel & B. Gniewosz (Eds.), *Empirische Bildungsforschung - Gegenstandsbereiche* (pp. 137-148). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien.
- Guderian, P., & Priemer, B. (2008). Interesseförderung durch Schülerlaborbesuche - eine Zusammenfassung der Forschung in Deutschland. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule, PhyDid 2(7)*, 27-36.
- Gudjons, H. (1997). *Didaktik zum Anfassen - Lehrer/in-Persönlichkeit und lebendiger Unterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Günzler, H., & Williams, A. (2001). *Handbook of Analytical Techniques*. Weinheim: Wiley-VCH.
- Haag, L., & Götz, T. (2012). Mathe ist schwierig und Deutsch aktuell: Vergleichende Studie zur Charakterisierung von Schulfächern aus Schülersicht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht, 59*, 32-46.
- Habelitz-Tkotz, W. (2014). Abizahlen Chemie 2006-2014. Poster GDCh-Tagung 2014.
- Habelitz-Tkotz, W., & Hörnig, J. (2011). P- und W-Seminare mit Leitfach Chemie in Bayern - Möglichkeiten zur Interessenförderung für das Fach Chemie in der Oberstufe des achtjährigen Gymnasiums. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule, 60(7)*, 5-15.
- Hahn, S. (2013). Wissenschaftspropädeutik in der gymnasialen Oberstufe. In D. Bosse (Ed.), *Standardisierung in der gymnasialen Oberstufe*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Hammann, M., & Jördens, J. (2014). Offene Aufgaben codieren. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Eds.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag
- Hartinger, A., Grygier, P., Tretter, T., & Ziegler, F. (2013). Lernumgebungen zum naturwissenschaftlichen Experimentieren *Publikation des Programms SINUS an Grundschulen* Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) an der Universität Kiel.
- Hashweh, M. Z. (1996). Effects of Science Teachers' Epistemological Beliefs in Teaching. *Journal of Research in Science Teaching, 33(1)*, 47-63.
- Hattie, J. (2013). *Lernen sichtbar machen* (W. Beywl & K. Zierer Eds.). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Heinze, T. (2001). *Qualitative Sozialforschung - Einführung, Methodologie und Forschungspraxis*. München, Wien: R. Oldenbourg Verlag.
- Helfferich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten - Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften - Springer Fachmedien.
- Helmbrecht, S. (2013). Auswertung LEV Umfrage 2012-13. In A. L. U. 2012-13.pdf (Ed.), pdf: Landes-Eltern-Vereinigung für die Gymnasien in Bayern.
- Helmke, A. (2010). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität*. Seelze-Velber: Kallmeyer Klett.
- Hertel, S. (2009). *Beratungskompetenz von Lehrern - Kompetenzdiagnostik, Kompetenzförderung, Kompetenzmodellierung*. Münster u. a. : Waxmann.
- Hertel, S., Bruder, S., & Schmitz, B. (2009). Beratungs- und Gesprächsführungskompetenz von Lehrkräften. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill, R. Nickolaus & R. Mulder (Eds.), *Lehrerprofessionalität - Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung*. Weinheim: Beltz.
- Heß, K. (2011). *Computergestützte Temperaturmessung im Chemieunterricht*. (Zulassungsarbeit zur Ersten Staatsprüfung Zulassungsarbeit), Julius-Maximilians-Universität, Würzburg.
- Heublein, U., Hutzsch, C., Schreiber, J., Sommer, D., & Besuch, G. (2009). Ursachen des Studienabbruchs in Bachelor- und in herkömmlichen Studiengängen. from Hochschule Informations System HIS http://www.hrk-bologna.de/bologna/de/download/dateien/HIS_studienabbruch_ursachen2009.pdf

- Heublein, U., Richter, J., Schmelzer, R., & Sommer, D. (2012). Die Entwicklung der Schwund- und Studienabbruchquoten an den deutschen Hochschulen. Retrieved 16.07.2013, from Hochschul Informations System HIS, Bundesministerium für Bildung und Forschung http://www.his.de/pdf/pub_fh/fh-201203.pdf
- Hillebrandt, D., & Dähnhardt, D. (2005). Forschend lernen - Schülerlabore in Deutschland. *TheoPrax*, 2005(1), 20-23.
- Hofheinz, V. (2010). Das Wesen der Naturwissenschaften - Was die Naturwissenschaften ausmacht. *Unterricht Chemie*, 21(118/119), 8-13.
- Hollemann, A. F., & Wiberg, E. (1995). *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*. Berlin: de Gruyter.
- Hößle, C., Höttecke, D., & Kircher, E. (2003). *Lehren und lernen über die Natur der Naturwissenschaft*. Hohengehren, Baltmannsweiler: Schneider Verlag.
- Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen von der "Natur der Naturwissenschaften". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7, 7-23.
- Höttecke, D. (2012). *Forschend-entdeckenden Unterricht authentisch gestalten. Ein Problemaufriss*. Paper presented at the GDGP, Hannover.
- Housecroft, C. E. S., Alan G. (2006). *Anorganische Chemie* (2. Auflage ed.). München: Pearson Studium.
- Hülsmann, C., & Walpuski, M. (2013). *Kurswahlmotive von Oberstufenschülerinnen und -schülern im Fach Chemie*. Paper presented at the Naturwissenschaftliche Bildung zwischen Science- und Fachunterricht, München.
- Institut für Empirische Bildungsforschung, H. (Writer). (2015). Transformation des Sekundarschulsystems und akademische Karrieren (TOSCA). Tübingen.
- Irmer, E. (2012). Kooperation Schule - Wissenschaft. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 61(3), 4.
- ISB, S. f. S. u. B. Das Portfolio in der Schule. *ISB-Projekt "Individuell Fördern"* Retrieved 05.09.2013, from www.foerdern-individuell.de/index.php?Seite=2677&PHPSESSID=24e8b210d6fc3285e110fc2b9282bfa4
- ISB, S. f. S. u. B. Jahrgangsstufenlehrplan 9, Chemie. Retrieved 07.01.2013, from www.isb-gym8-lehrplan.de/contentserv/3.1.neu/g8.de/index.php?StoryID=26447
- ISB, S. f. S. u. B. *P-Seminar Gesamtdokument*. Retrieved from http://www.oberstufenseminare.bayern.de/download/1339/gesamtdokument_end.pdf.
- ISB, S. f. S. u. B. (2007). *Die Seminare in der gymnasialen Oberstufe* (1. Auflage ed.). München.
- ISB, S. f. S. u. B. (2011). *Wissenschaftspropädeutisches Arbeiten im W-Seminar*. München.
- ISB, S. f. S. u. B. (2013a). Belegung von P-Seminaren im Jahrgang 2011/13. München: Manuel Streubert, Abteilung Gymnasium, Referat "Entwicklung und Betreuung der neuen Oberstufe".
- ISB, S. f. S. u. B. (2013b). Belegung von W-Seminaren im Jahrgang 2011/13. ISB München: Manuel Streubert, Abteilung Gymnasium, Referat "Entwicklung und Betreuung der neuen Oberstufe".
- ISB, S. f. S. u. B. (2016). Beruf und Studium - BuS - Berufs- und Studienwahl an Gymnasien, Fachoberschulen und Berufsoberschulen in Bayern. Retrieved 06.03.2017, from <https://www.isb.bayern.de/schulartuebergreifendes/schule-und-gesellschaft/uebergaenge-in-ausbildung-studium-und-beruf/beruf-und-studium-bus/>
- Jander, G. B., E. (2006). *Lehrbuch der analytischen und präparativen anorganischen Chemie*. Stuttgart: S. Hirzel Verlag.
- Jüttner, M., & Neuhaus, B. (2013). Development and use of a test instrument to measure biology teachers' content knowledge (CK) and pedagogical content knowledge (PCK). *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 25(1), 45-67.
- Jüttner, M., & Neuhaus, B. J. (2013). Das Professionswissen von Biologielehrkräften - Ein Vergleich zwischen Biologielehrkräften, Biologen und Pädagogen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 31-49.

- Kahlert, J. (1991). Alltagstheorien der Lehrer über den Zustand der Natur. In G. Eulefeld, D. Bolscho & H. Seybold (Eds.), *Umweltbewußtsein und Umwelterziehung - Ansätze und Ergebnisse empirischer Forschung* (Vol. 129). Kiel: IPN.
- Karmann, J., & Riederer, J. (2011). *Einflussfaktoren auf die Wahl eines W-Seminars mit Leitfach Chemie für die Oberstufe des achtjährigen bayerischen Gymnasiums*. (Zulassungsarbeit zur ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien), Ludwig-Maximilians-Universität München, München.
- Karpa, D., Lübbecke, G., & Adam, B. (2015). *Außerschulische Lernorte*. Immenhausen: Prolog-Verlag.
- Keune, H. (1963). *Grundriss der allgemeinen Methodik des Chemieunterrichts*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Klemm, K. (2011). Charakteristika und Rahmenbedingungen des Lehrerberufs. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Eds.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf*. Münster / New York / München / Berlin: Waxmann.
- Standards für die Lehrerbildung - Bericht der Arbeitsgruppe (2004).
- Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz (2005).
- Vereinbarung zur Gestaltung der gymnasialen Oberstufe in der Sekundarstufe II (2006).
- KMK, K. (2016). Demokratieerziehung. Retrieved 20.12.2016, 2016, from <https://www.kmk.org/themen/allgemeinbildende-schulen/weitere-unterrichtsinhalte/demokratieerziehung.html>
- Köck, H., & Stonjek, D. (2005). *ABD der Geographiedidaktik*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Kometz, A. (1998). *Chemieunterricht*. Berlin: Cornelsen-Verlag.
- Kometz, A. (2013). Konzept der Chemiedidaktik. *NESSI-Lab - Nürnberg-Erlanger-Schüler-und-Schülerinnen-Labor*. Retrieved 22.02.2016, from <http://www.nessi-lab.uni-erlangen.de/konzept/konzept-der-chemiedidaktik.shtml>
- Kometz, A., Bauer, N., Schmitt-Sody, B., & Scheffler, F. (2013). Medienbildung in der Chemiedidaktik. In M. L. Priner, W. Pfeiffer & R. Uphues (Eds.), *Medienbildung in schulischen Kontexten - Erziehungswissenschaftliche und fachdidaktische Perspektiven*. München: kopaed.
- Kranz, J., & Schorn, J. (2008). *CHEMIE Methodik*. Berlin: Cornelsen Verlag.
- Krause, D., & Eyerer, P. (2007). *Schülerprojekte managen: TheoPrax Methodik in Aus- und Weiterbildung*. Bielefeld: Bertelsmann Verlag.
- Krippendorff, K. (2004). Reliability in Content Analysis - Some Common Misconceptions and Recommendations. *Human Communication Research*, 30(3), 411-433.
- Kuckartz, U. (2010). *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. Wiesbaden: VS-Verlag.
- Kuckartz, U., Desing, T., Rädiker, S., & Stefer, C. (2008). *Qualitative Evaluation V. V. f. Sozialwissenschaften* (Ed.) *Der Einstieg in die Praxis*
- Kunter, M. (2011). Forschung zur Lehrermotivation. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Eds.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (pp. 605-629). Münster / New York / München / Berlin: Waxmann.
- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S., & Neubrand, M. (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften*. Münster: Waxmann Verlag.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and Teachers' Conceptions of the Nature of Science: A Review of the Research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (2004). *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education*. Dordrecht, Boston, London: Kluwer.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. (2012). Nature of Scientific Knowledge and Scientific Inquiry: Building Instructional Capacity Through Professional Development. In B. J. Fraser, K. Tobin & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 335-359): Springer International Handbooks of Education.
- Lee, E., & Luft, J. (2008). Experienced secondary science teachers' representation of pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 30, 1343-1363.

- Lehmann, T. (2011). H-NMR-Spektroskopie. Retrieved 28.01.2013, from <http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~tlehmann/gp/nmr.pdf>
- LeLa. (2016). LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore e.V. Retrieved 22.2.2016, from <http://www.lernort-labor.de/LabCards.php?tl=2>
- Lohwasser, K. (2013). *Science-for-Teaching Discourse in Science Teachers' Professional Learning Communities*. (Doctor of Philosophy), University of Washington, Seattle.
- Loughran, J., Berry, A., & Mullhall, P. (2012). *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Lütgert, W., & Stephan, H.-U. (1983). Implementation und Evaluation von Curricula: deutschsprachiger Raum. In U. Hameyer, K. Frey & H. Haft (Eds.), *Handbuch der Curriculumforschung*. Weinheim: Beltz-Verlag.
- Malone, K. (2008). Every experience matters: An evidence based research report on the role of learning outside the classroom for children's whole development from birth to eighteen years. Warwickshire, UK: Farming and Countryside Education for UK Department of Children, Schools and Families.
- Manhardt, G. (2010, 10.11.2010, 13:45-14:15 Uhr).
- Masuhr, A. (2013). *Die Facharbeit im Leistungskurs und die Seminararbeit im W-Seminar - ein Vergleich*. (1. Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien Zulassungsarbeit), Julius-Maximilians-Universität würzburg, Würzburg.
- Mayer, C. (2012, 27.03.2012).
- Mayring, P. (2002). *Einführung in die qualitative Sozialforschung*. Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim, Basel: Beltz.
- Mayring, P., & Gläser-Zikuda, M. (2008). *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (2. Aufl. ed.). Weinheim, Basel: Beltz.
- McComas, W. F., Michael, P.-C., & Almazora, H. (1998). The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. In W. F. McComas (Ed.), *The Nature of Science in Science Education* (pp. 3-39). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Merkens, H. (2009). Organisationskultur und Professionalisierung. In O. Zlatkin-Troitschanskaia, K. Beck, D. Sembill, R. Nickolaus & R. Mulder (Eds.), *Lehrerprofessionalität – Bedingungen, Genese, Wirkungen und ihre Messung* Weinheim: Beltz-Verlag.
- Metrohm. (2010). 859 Titrotherm. In M. AG (Ed.). Herisau.
- Meyer, H. (2011). *Was ist guter Unterricht?* (8. Aufl. ed.). Berlin: Cornelsen Verlag.
- Nashan, M. (2009). Gründung des CHEMOL-Projekts. Retrieved 22.2.2016, from <http://www.chemol.uni-oldenburg.de/39328.html>
- Neumann, I. (2011). *Beyond Physics Content Knowledge - Modeling Competence Regarding Nature of Science and Nature of Scientific Knowledge* (Vol. 117). Berlin: Logos-Verlag.
- Neumann, I., & Kremer, K. (2013). Nature of Science und epistemologische Überzeugungen - Ähnlichkeiten und Unterschiede. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19.
- Neuweg, G. H. (2011). Das Wissen der Wissensvermittler - Problemstellungen, Befunde und Perspektiven der Forschung zum Lehrerwissen. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Eds.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (pp. 451-477). Münster / New York / München / Berlin: Waxmann.
- Oechsle, M., Knäuf, H., Maschetzke, C., & Rosowski, E. (2009). *Abitur und was dann? - Berufsorientierung und Lebensplanung junger Frauen und Männer und der Einfluss von Schule und Eltern*. Wiesbaden VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage.
- Oetken, M., & al., e. (2011). Schüler("fehl")vorstellungen als Chance begreifen. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 60(3).
- Verordnung über die Reifeprüfung in den allgemein bildenden höheren Schulen (Prüfungsordnung AHS) (2012).
- Otto, M. (2006). *Analytische Chemie* (3. Aufl. ed.). Weinheim: WILEY-VCH Verlag.

- Panel of Food Additives, F., Processing Aids and Food Contact Materials AFC. (2008). Assessment of the results of the study by McCann et al. (2007) on the effect of some colours and sodium benzoate on children's behaviour *The EFSA Journal*, 6(3), 1-54.
- Pant, H. A., Stanat, P., Schroeders, U., Roppelt, A., Siegle, T., & (Hrsg.), C. P. (2013). IQB-Ländervergleich 2012 - Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen am Ende der Sekundarstufe I. Münster: Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen IQB.
- Päßler, K. (2011). *Die Bedeutung beruflicher Interessen und kognitiver Fähigkeiten für die Studien- und Berufswahl*. (Dissertation), Universität Hohenheim, Konstanz.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative Research & Evaluation Methods* (3rd ed. ed.). Thousand Oaks, London, New Delhi: Sage Publications.
- Pfeifer, P., Lutz, B., & Bader, H. H. (2002). *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (Vol. 3. Auflage). München: Oldenbourg Schulbuchverlag.
- Pöhls, C., & Busker, M. (2013). Rosten gegen Gelenkschmerzen? *CHEMKON*, 20(3), 131-139.
- Prechtl, P., & Burkard, F.-P. (2008). *Metzlers Lexikon Philosophie - Begriffe und Definitionen* (3. Auflage ed.). Stuttgart, Weimar Verlag J.B. Metzler.
- Przyborski, A., & Wohlrab-Sahr, M. (2008). *Qualitative Sozialforschung*. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Radits, F., & Rauch, F. (2008). Wissenschaft ruft Schule: Forschungs-Bildungs-Kooperationen als Forschungsfeld - Explorationen aus der Perspektive von Science Education. In F. Eder & G. Hörl (Eds.), *Gerechtigkeit und Effizienz im Bildungswesen : Unterricht, Schulentwicklung und LehrerInnenbildung als professionelle Handlungsfelder* (Vol. 6). Wien.
- Raithel, J. (2008). *Quantitative Forschung - Ein Praxiskurs*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Ralle, B. (1992). *Das chemische Experiment - fachdidaktische Diskussion und unterrichtliche Praxis*. Paper presented at the Zur Didaktik der Physik und Chemie: Probleme und Perspektiven.
- Rehm, M., & Stäudel, L. (2010). Nature of Science - Erwartungen und Ansätze. *Unterricht Chemie*, 21(118/119), 14-15.
- Reinhoffer, B. (2008). Lehrkräfte geben Auskunft über ihren Unterricht. In P. Mayring & M. Gläser-Zikuda (Eds.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (pp. 123-141). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Reinold, P. (2011, 31.01.2011). *Die Seminare in der Oberstufe des achtjährigen Gymnasiums*. Paper presented at the Jahrestagung „SchulLaborBayern“, Oberpfaffenhofen.
- Roßa, A.-E. (2013). *Zum Verhältnis von Allgemeiner Didaktik und Fachdidaktik in der Lehrerbildung*. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt.
- Saarland, M. f. B. u. K. (2010). Empfehlungen und Handreichungen für das Seminarfach in der Hauptphase der Gymnasialen Oberstufe Saar http://www.saarland.de/dokumente/thema_bildung/HandreichungenSeminarfach.pdf
- Schecker, H. (2009). Gottfried Merzyn: Naturwissenschaften, Mathematik, Technik — immer unbeliebter? Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel vielfältiger Untersuchungen. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2(8), S. 84-85.
- Schenk, R. (2005). *Das Seminarfach in Thüringen. Die Entwicklung und der Anspruch des Seminarfachs in Thüringen im Kontext der Diskussion um die gymnasiale Oberstufe*. (Dissertation), Universität Erfurt, Erfurt.
- Schenk, R., & Wille, H. (2003). *Hinweise für den Unterricht im Seminarfach* (Vol. Heft 87).
- Schmelzing, S., Wüsten, S., Sandmann, A., & Neuhaus, B. (2008). Das fachdidaktische Wissen der Lehrkräfte als Einflussfaktor für die Unterrichtsqualität im Biologieunterricht *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7, 159-168.
- Schmidkunz, H., & Lindemann, H. (1992). *Das forschend-entdeckende Unterrichtsverfahren - Problemlösen im Naturwissenschaftlichen Unterricht*. Dortmund: Westarp Wissenschaften.
- Schmitz, H., Feineis, R., Geist, A., Honal, W., Kern, H., & Rall-Weiß, L. (2005). *Beruf und Studium - BuS*. Wolnzach: Kastner AG.

- Schmitz, J. (2003). *Studien zur Ausprägung naturwissenschaftlicher Handlungskompetenz bei Abiturientinnen und Abiturienten und deren Förderungsmöglichkeiten durch fächerverbindende besondere Lernleistungen am Beispiel des Seminarfaches an Thüringer Gymnasien*. (Doktor der Pädagogik), Universität Siegen, Siegen.
- Schwab, M. (2002). Der "Heater" - Ein neues Unterrichtsprojekt. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 69(13), 43-44.
- Schwarzer, R., & Jerusalem, M. (2002). Das Konzept der Selbstwirksamkeit. In M. Jerusalem & D. Hopf (Eds.), *Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen* (Vol. 44. Beiheft, pp. 28-53). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Schwarzer, R., & Warner, L. M. (2011). Forschung zur Selbstwirksamkeit bei Lehrerinnen und Lehrern. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Eds.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (pp. 496-510). Münster / New York / München / Berlin: Waxmann
- Schwedt, G. (2008). *Analytische Chemie - Grundlagen, Methoden und Praxis* (2. Aufl. ed.). Weinheim: WILEY-VHC Verlag
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (2015). PCK - ITs genesis and exodus. In A. Berry, P. Friedrichsen & J. Loughran (Eds.), *Re-Examining Pedagogical Content Knowledge in Science Education* (pp. 3-13). New York: Routledge Taylor & Francis.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2013). *Instrumentelle Analytik*. Berlin: Springer-Verlag.
- SLB, S. (2008). Ergebnisprotokoll Symposium Schülerlabore am 24. November 2008
- Sommer, K., Toschka, C., Schröder, L., Schröder, T. P., Steff, H., & Fischer, R. A. (2017). Modellesperimente im Chemieunterricht - Ein Beitrag zur Definition des Begriffes Modellexperiment und zur Bestimmung des Modellierungsgrades. *CHEMKON*, 24(1), 13-19.
- Steinke, I. (1999). *Kriterien qualitativer Forschung - Ansätze zur Bewertung qualitativ-empirischer Sozialforschung*. Weinheim: Juventa Verlag.
- Steinke, I. (2010). Qualitätssicherung in der qualitativen Forschung. In U. Kuckartz (Ed.), *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Stolzenberger, C. (2014). Der Einfluss der didaktischen Lernumgebung auf das Erreichen geforderter Bildungsziele am Beispiel der W- und P-Seminare im Fach Physik. Berlin: Logos Verlag.
- Sumfleth, E. (2004). Fachdidaktik Chemie. In S. Blömeke, P. Reinhold, G. Tulodziecki & J. Wildt (Eds.), *Handbuch Lehrerbildung* (pp. 434-439). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Sumfleth, E. (2017). *Diagnose - Intervention - Implementation im Spannungsfeld zwischen fachdidaktischer Forschung und unterrichtlicher Praxis*. Paper presented at the GDGP-Jahrestagung, Zürich.
- Tal, T. (2012). Out-of-School: Learning Experiences, Teaching and Students' Learning. In B. J. Fraser, K. G. Tobin & C. J. McRobbie (Eds.), *Second* (Vol. 2, pp. 1109-1122). Dordrecht: Springer Science+Business Media.
- Tepner, O., Borowski, A., Dollny, S., Hans E. Fischer, Jüttner, M., Kirschner, S., . . . Wirth, J. (2012). Modell zur Entwicklung von Testitems zur Erfassung des Professionswissens von Lehrkräften in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 7-28.
- Terhart, E., & Klieme, E. (2006). Kooperation im Lehrerberuf: Forschungsproblem und Gestaltungsaufgabe. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(2), 163-166.
- Trautwein, U., Neumann, M., Nagy, G., Lüdtko, O., & Maaz, K. (2010). *Schulleistungen von Abiturienten - Die neu geordnete gymnasiale Oberstufe auf dem Prüfstand*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien.
- vbw, B. d. B. W., KM, B. S. f. U. u. K., & bbw, B. d. b. W. (2005). Projektmanagement - Ein Leitfaden für die Schule.
www.schulentwicklung.bayern.de/userfiles/PROJEKTMANAGEMENT_LEITFADEN.pdf
- Veal, W. R., & MacKinster, J. G. (1999). Pedagogical Content Knowledge Taxonomies. *Electronic Journal of Science Education EJSE*, 3(4).

- Vogt, K., & Gottfried, T. (2011). Evaluation der Seminare der gymnasialen Oberstufe - Zentrale Ergebnisse. Retrieved 16.07.2013, from Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung ISB
https://www.isb.bayern.de/download/10802/praesentation_evaluation_final.pdf
- Volkamer, S. (2014). *Konzeption eines W-Seminars zum Thema "Farbkasten Chemie"*. (Zulassungsarbeit zur Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien), Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Würzburg.
- Voß, R. (2005). *Unterricht aus konstruktivistischer Sicht* (2. Auflage ed.). Weinheim, Basel: Beltz-Verlag.
- Wagner, S. (2017, 07.03.2017). [Aufbau eines Gaschromatographen].
- Wambach-Laicher, J. (2011). Chemie im Seminarfach und Projektkurs. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 60(7).
- Weirauch, K. (2015, 16.08.2015). *Das Lehr-Lern-Labor Analyseverfahren der Chemie*. [Betreuer-Skript zum LLL Analyseverfahren]. Didaktik der Chemie, Universität Würzburg, Würzburg.
- Weirauch, K. (2016, 18.7.2016). *Planungshilfen und Methodenwerkzeuge für W-Seminare*. [Skript zur Lehrerfortbildung]. Didaktik der Chemie, Universität Würzburg, Würzburg.
- Weirauch, K., & Geidel, E. (2014). Selbstständiges Experimentieren mit Egg-Races. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, 63(3), 45-49.
- Weirauch, K., & Geidel, E. (2015). Heterogenität als "Kerngeschäft": Neue Herausforderungen an das Professionswissen durch Seminarfächer. In S. Bernholt (Ed.), *Heterogenität und Diversität - Vielfalt der Voraussetzungen im naturwissenschaftlichen Unterricht* (Vol. 35, pp. 325-327). Kiel: Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.
- Weirauch, K., & Geidel, E. (2017). Implementation nur bedingt gelungen: Stärken und Schwächen von Seminarfächern aus der Perspektive der Lehrkräfte. In C. Maurer (Ed.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis* (Vol. 37). Zürich.
- Weirauch, K., Geidel, E., Hörnig, A.-L., & Seefried, H. (2015). Forschen lernen in der Schule. *Praxis der Naturwissenschaften Chemie in der Schule*, 46(6).
- Willuweit, C. (2010). [Das Konzept "Vorlesung" als Methode für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Sek II].
- Wirtschaftsinformatik, H. f. A. W. W.-S.-F. f. I. u. (2013). Angebote für Schulen. Retrieved 13.09.2013, from <http://www.welearn.de/fakultaet-iw/kooperationen-foerdermoeglichkeiten/angebote-fuer-schulen.html>
- Wirtz, M., & Caspar, F. (2002). *Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität*. Göttingen: Hogrefe-Verlag.
- Zeitler, S., Heller, N., & Asbrand, B. (2013). Bildungspolitische Vorgaben und schulische Praxis. Eine Rekonstruktion der Orientierungen von Lehrerinnen und Lehrern bei der Einführung der Bildungsstandards. *Zeitschrift für interpretative Schul- und Unterrichtsforschung ZISU*, 2, 110-127.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Kompetenzmodell von COACTIV mit Spezifikationen für das Professionswissen.....	14
Abbildung 2: Einige Bedeutungsebenen einer chemischen Reaktions-Gleichung	23
Abbildung 3: Fünf Aspekte zur Unterscheidung von <i>epistemological beliefs</i> und Wissen über NOS in Anlehnung an (Neumann & Kremer, 2013)	28
Abbildung 4: Modell des Professionswissens	32
Abbildung 5: Modell zur Konzeption von Items zur Erfassung des Professionswissens	35
Abbildung 6: Modellierung des PCK von Chemie-Lehrkräften nach Fachspezifität ..	36
Abbildung 7: Meinung der Eltern zu W-Seminaren (Helmbrecht, 2013)	53
Abbildung 8: Meinung der Eltern zu P-Seminaren (Helmbrecht, 2013)	54
Abbildung 9: "Felder der Wissenschaftspropädeutik"	58
Abbildung 10: Überblick über die Dimensionen von NdN	60
Abbildung 11: Art der Kooperationspartner von P-Seminaren in Mittelfranken 2009-2011	73
Abbildung 12: Betrachteter Ausschnitt aus dem Angebots-Nutzungs-Modell nach Helmke (2010).....	83
Abbildung 13: Hypothetisches Modell <i>Guten Unterrichts</i> in Chemie-Seminarfächern	84
Abbildung 14: Erstes Ablaufmodell der Studie	87
Abbildung 15: Berufserfahrung der befragten Lehrkräfte	89
Abbildung 16: Leitfaden 1	93
Abbildung 17: Leitfaden 2.....	96
Abbildung 18: Ablaufmodell der Studie	108
Abbildung 19: Bildung der Sub-Kategorien zur Fachspezifität des Professionswissens	120
Abbildung 20: Professionelle Kompetenzen für eine erfolgreiche Wissenschaftspropädeutik	162
Abbildung 21: Inhalte eines fachspezifischen und fachunabhängigen Seminarfach-Professionswissens	164
Abbildung 22: Aspekte freiwilliger Profession von Gymnasiallehrern und verpflichtender Aspekte eines Seminarfach-Wissens.....	165
Abbildung 23: Anteil bayerischer Abiturienten, die Chemie im Abitur belegten (Waltraud Habelitz-Tkotz, 2014)	169
Abbildung 24: Chemie-Show des P-Seminars Rothenburg zum Tag der offenen Tür an der Fakultät für Chemie und Pharmazie der Universität Würzburg	176
Abbildung 25: Chemie-Show des P-Seminars aus Bad Kissingen bei der GDCh-Jahrestagung	177
Abbildung 26: Brainstorming an der Tafel im Workshop beim P-Seminar-Coaching	181

Abbildung 27: Auszüge aus den Rückmeldebögen der RLFB Würzburg und des LFZ Nürnberg-Erlangen 2012	184
Abbildung 28: Original IR-Spektrum einer Mülltüte	188
Abbildung 29: IR-Spektrum der Wärmepflaster-Folie (mit Zuordnungsversuchen der Schüler).....	188
Abbildung 30: Hypothesen der Schüler	191
Abbildung 31: Visualisierung des Naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozesses	193
Abbildung 32: Modifizierter Ablauf eines W-Seminars.....	200
Abbildung 33: Bildung des Morin-Komplexes.....	205
Abbildung 34: Thermometrische Titration von 1N NaOH mit 1N HCl	209
Abbildung 35: Modell Titration.....	210
Abbildung 36: Apparatur für DC.....	213
Abbildung 37: Verschiedene Lebensmittelfarben als Vergleichs-Proben für die DC	214
Abbildung 38: Säulenchromatographie	216
Abbildung 39: Hypothetisches Chromatogramm einer Säulenchromatographie.....	217
Abbildung 40: Absorption von Licht bei Polyenen.....	218
Abbildung 41: Modellversuch zum Verteilungsgleichgewicht in den Phasen bei der Chromatographie.....	220
Abbildung 42: Schematischer Aufbau eines Gaschromatographen	222
Abbildung 43: Skizze des Funktionsmodells zur GC	224
Abbildung 44: Bereiche des elektromagnetischen Spektrums	225
Abbildung 45: Änderung der Licht-Intensität bei Durchtritt durch eine Lösung.....	227
Abbildung 46: Additive Farbmischung	231
Abbildung 47: Subtraktive Farbmischung	231
Abbildung 48: Goethes Farbkreis	232
Abbildung 49: Absorptionsspektrum von Kongorot.....	232
Abbildung 50: Streckschwingung einer kovalenten Bindung	236
Abbildung 51: Schwingungsformen in der IR-Spektroskopie	237
Abbildung 52: IR-Spektrum von Ethanol	239
Abbildung 53: Modelle zur Visualisierung von Molekül-Schwingungen	240
Abbildung 54: parallele und antiparallele Ausrichtung von Atomkernen mit Spin $\frac{1}{2}$ im Magnetfeld.....	242
Abbildung 55: Gyroskop (links) und Stehauf-Kreisel (rechts)	243
Abbildung 56: Erhöhte Auflösung bei höheren Magnetfeldern (nach Bertermann, 2017)	244
Abbildung 57: Aufbau eines Massenspektrometers.....	248
Abbildung 58: Funktionsmodell der Massenspektrometrie.....	252

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategoriale Abgrenzung von CK und PCK über NOS sowie <i>beliefs</i>	29
Tabelle 2: Facetten generischen pädagogischen Wissens.....	30
Tabelle 3: Aspekte der Beratungskompetenz (zitiert nach Hertel, S. 43)	43
Tabelle 4: Übersicht über Seminarfächer und -kurse in den Bundesländern.....	45
Tabelle 5: Anteil der Gymnasien, die in den Jahren 2009-2011 naturwissenschaftliche Seminare angeboten haben. Nach (Reinold, 2011)	49
Tabelle 6: Gründe für die Wahl von W-Seminaren (2010-2013)	52
Tabelle 7: Ablauf des W-Seminars	55
Tabelle 8: Art der externen Kooperationspartner bayernweit	73
Tabelle 9: Vorerfahrungen der interviewten Lehrkräfte aus der Berufswelt	90
Tabelle 10: Übersicht über die geführten Interviews.....	92
Tabelle 11: Generieren von Kategorien mit Hilfe der Memo-Funktion - Beispiele...	103
Tabelle 12: Kategoriensystem August 2012	104
Tabelle 13: Übersicht über Ergebnisse der Case-Summaries	105
Tabelle 14: Oberkategorien und Hauptkategorien des Kategoriensystems	109
Tabelle 15: Prozentuale Verteilung der Codierungen auf die Haupt-Kategorien.....	110
Tabelle 16: Kategoriensystem zu Überzeugungen und Werthaltungen.....	114
Tabelle 17: Kategoriensystem zur Motivationalen Orientierung.....	114
Tabelle 18: Kategoriensystem zum Beratungswissen	114
Tabelle 19: Kategoriensystem zum Organisationswissen	115
Tabelle 20: Kategoriensystem zum Anforderungsniveau in Bezug auf CK, PCK und PK	118
Tabelle 21: Kategorien zum Anforderungsniveau in Bezug auf die Selbstregulation	119
Tabelle 22: Kategoriensystem zur Fachspezifität	121
Tabelle 23: Kategorisierung der Sub-Kategorien des Organisationswissens nach Fachspezifität	123
Tabelle 24: Kategorisierung der Sub-Kategorien des Beratungswissens nach Fachspezifität	124
Tabelle 25: Übersicht der zufällig für die Zweitcodierungen ausgewählten Interviews	128
Tabelle 26: Anzahl der Codings zu den Aspekten des Professionswissens	131
Tabelle 27: Vergleich der prozentualen Anteile zwischen den Anforderungsniveaus bezogen auf verschiedene Aspekte des Professionswissens.....	133
Tabelle 28: Vorerfahrung und Fachspezifität der Anforderungen bei P-Seminaren.	141
Tabelle 29: Vorerfahrung und Fachspezifität der Anforderungen bei W-Seminaren	144
Tabelle 30: Vergleich Facharbeiten und Seminararbeiten (Masuhr, 2013).....	160
Tabelle 31: Anforderungen und Herausforderungen an fachspezifisches und fachunabhängiges Seminarfach-Wissen.....	161
Tabelle 32: Ausgewählte Beispiele für Kooperationen zwischen Chemie-Didaktik und W- und P-Seminaren im Rahmen dieser Arbeit	170
Tabelle 33: In Labortagen betreute W-Seminar-Themen	172
Tabelle 34: Entwickelte Konzepte für W- und P-Seminare	175

Tabelle 35: Rückmeldung der Schüler zu P-Seminartag-Veranstaltungen.....	178
Tabelle 36: Farben von Phosphorsalzperlen mit verschiedenen Schwermetallionen	205
Tabelle 37: Spektroskopische Methoden	226
Tabelle 38: Zusammenhang zwischen absorbiertes Wellenlänge und Farbe	230
Tabelle 39: Typische IR-Banden	239
Tabelle 40: Rückmeldungen der Schüler zum LLL Analytik.....	254

Anhang

1. Transkriptionsregeln
2. Codierleitfaden
3. Liste der ermittelten Anforderungen an PK, CK und PCK der Lehrkräfte
4. Schüler-Handout des LLL „Analyseverfahren der Chemie“

Transkriptionssystem

nach:

Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse - Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende. 5. Auflage, September 2013, S. 19-24.

<http://www.audiotranskription.de/Praxisbuch-Transkription.pdf>; abgerufen am 5.10.2013.

1. Es wird wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend. Vorhandene Dialekte werden möglichst wortgenau ins Hochdeutsche übersetzt. Wenn keine eindeutige Übersetzung möglich ist, wird der Dialekt beibehalten, zum Beispiel: Ich gehe heuer auf das Oktoberfest.
2. Wortverschleifungen werden nicht transkribiert, sondern an das Schriftdeutsch angenähert. Beispielsweise „Er hatte noch so'n Buch genannt“ wird zu „Er hatte noch so ein Buch genannt“ und „hamma“ wird zu „haben wir“. Die Satzform wird beibehalten, auch wenn sie syntaktische Fehler beinhaltet, beispielsweise: „bin ich nach Kaufhaus gegangen“.
3. Wort- und Satzabbrüche sowie Stottern werden geglättet bzw. ausgelassen, Wortdoppelungen werden immer erfasst.
4. Ganze“ Halbsätze, denen nur die Vollendung fehlt, werden erfasst und mit dem Abbruchzeichen / gekennzeichnet.
5. Interpunktion wird zu Gunsten der Lesbarkeit geglättet, das heißt bei kurzem Senken der Stimme oder uneindeutiger Betonung wird eher ein Punkt als ein Komma gesetzt. Dabei sollen Sinneinheiten beibehalten werden.
6. Pausen werden durch drei Auslassungspunkte in Klammern (...) markiert. Verständnissignale des gerade nicht Sprechenden wie „mhm, aha, ja, genau, ähm“ etc. werden nicht transkribiert. AUSNAHME: Eine Antwort besteht NUR aus „mhm“ ohne jegliche weitere Ausführung. Dies wird als „mhm (bejahend)“, oder „mhm (verneinend)“ erfasst, je nach Interpretation.
7. Besonders betonte Wörter oder Äußerungen werden durch GROSSSCHREIBUNG gekennzeichnet.
8. Jeder Sprecherbeitrag erhält eigene Absätze. Zwischen den Sprechern gibt es eine freie, leere Zeile. Auch kurze Einwürfe werden in einem separaten Absatz transkribiert. Mindestens am Ende eines Absatzes werden Zeitmarken eingefügt.
9. Emotionale nonverbale Äußerungen der befragten Person und des Interviewers, die die Aussage unterstützen oder verdeutlichen (etwa wie lachen oder seufzen), werden beim Einsatz in Klammern notiert.
10. Unverständliche Wörter werden mit (unv.) gekennzeichnet. Längere unverständliche Passagen sollen möglichst mit der Ursache versehen werden (unv., Handystörgeräusch) oder (unv., Mikrofon rauscht). Vermutet man einen Wortlaut, ist sich aber nicht sicher, wird das Wort bzw. der Satzteil mit einem Fragezeichen in Klammern gesetzt. Zum Beispiel: (Xylomethanolin?). Generell werden alle unverständlichen Stellen mit einer Zeitmarke versehen, wenn innerhalb von einer Minute keine Zeitmarke gesetzt ist.

Anhang

11. Auch Redewendungen/Idiome werden wörtlich und Standarddeutsch wiedergegeben, z.B. „übers Ohr hauen“ (statt: über das Ohr hauen).
12. Wird in der Aufnahme wörtliche Rede zitiert, wird das Zitat in Anführungszeichen gesetzt: und ich sagte dann „Na, dann schauen wir mal“.

13. Das Transkript wird als Rich Text Format (.rtf-Datei) gespeichert.

Hinweise zur einheitlichen Schreibweise

- Zeichen und Abkürzungen werden ausgeschrieben, zum Beispiel Prozent, Meter und so weiter.
- Wortverkürzungen wie „runtergehen“ statt „heruntergehen“ oder „mal“ statt „einmal“ werden genauso geschrieben, wie sie gesprochen werden.
- Englische Begriffe werden nach deutschen Rechtschreibregeln in Groß- und Kleinschreibung behandelt.
- Anredepronomen der zweite Person (du und ihr) werden klein geschrieben, die Höflichkeitsanrede-Pronomen (Sie und Ihnen) werden groß geschrieben.

Zahlen werden wie folgt dargestellt:

- Zahlen null bis zwölf im Fließtext mit Namen, größere in Ziffern.
- Auch weitere Zahlen mit kurzen Namen schreibt man aus, vor allem runde: zwanzig, hundert, dreitausend.
- Dezimalzahlen und mathematische Gleichungen sind stets in Ziffern zu schreiben. Also: „ $4 + 5 = 9$ “ und „3,5“.
- Bei nur ungefähr gemeinten Zahlenangaben schreibe man den Zahlennamen, bei exakt gemeinten die Ziffernform. Also: „Die fünfzig Millionen Euro Staatshilfe“.

Codierleitfaden

für das Dissertationsvorhaben Katja Weirauch:



Neue Herausforderungen an die professionellen Kompetenzen
von Chemie-Lehrkräften durch die Implementation von Seminarfächern

Allgemeine Regeln

Liebe Codierer,

im Folgenden soll die Vorgehensweise bei der Codierung des Interviewmaterials dieser Studie genauer erläutert werden. In Zweifelsfällen bitte immer das Gespräch mit der Autorin suchen! Grundsätzlich gilt:

- Das Codieren soll dazu führen, durch ein systematisches Vorgehen Muster in den Aussagen der Lehrkräfte zu entdecken. Dafür werden Textstellen mit Aussagen bestimmten „Überschriften“, den Codes oder Kategorien zugeordnet.
- Dabei können Aussagen der Lehrkräfte unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden. Somit kann der gleiche Satz einmal zur einen Kategorie (z. B. Organisationswissen => Wissen im Zusammenhang mit Kollegium) und einmal zur anderen (z. B. Professionswissen => Fachwissen) zugeordnet werden. **Die gleiche Textstelle kann also in Bezug auf die Haupt-Kategorien verschiedenen Kategorien zugeordnet werden!** Für die Sub-Kategorien gilt dies nicht mehr, da dort eine Klassifizierung nach „entweder – oder“ vorgenommen wird – hier müssen Sie sich dann für die eine ODER andere Variante entscheiden.
- Sie entscheiden, welche Satzteile zur Textstelle gehören. Als minimale Codiereinheit wird ein Teilsatz festgelegt, der in sich aussagefähig, also verständlich sein muss. Als Kontexteinheit, also größte zu codierende Einheit wird ein zusammenhängender Themenabschnitt festgelegt, wobei die Zwischenfragen des Interviewenden mit codiert wurden und keine Zäsur darstellen (Mayring, 2010, p. 59).
- Bitte wählen Sie die Textstellen so, dass der Sinnzusammenhang halbwegs verständlich bleibt. Beispielsweise sollten nicht nur Satzbruchstücke gewählt werden. Andererseits sollten nicht mehrere Sätze mit codiert werden, nur um den Gesamtzusammenhang darzustellen, wenn die Lehrkraft an dieser Stelle eigentlich nicht über das zu dokumentierende Thema spricht. Finden Sie diesbezüglich ein für Sie stimmiges Gleichgewicht, das Sie „durchziehen“.
- Die Fragen des Interviewers können mit codiert werden, um einen Sinnzusammenhang klar zu machen – beispielsweise wenn ein ganzer Abschnitt mit Fragen und Antworten als eine Textstelle codiert wird. Die Frage allein ist aber kein codierenswerter Text, da es ja um die Antworten der Lehrkräfte gehen soll!
- Grundsätzlich sollte am Ende **aller Text codiert sein!** (Ausnahme: Fragen des Interviewers – diese müssen nicht „flächendeckend“ codiert sein. Sie werden mitcodiert, wenn es das Verständnis erleichtert, dürfen aber auch uncodiert bleiben).

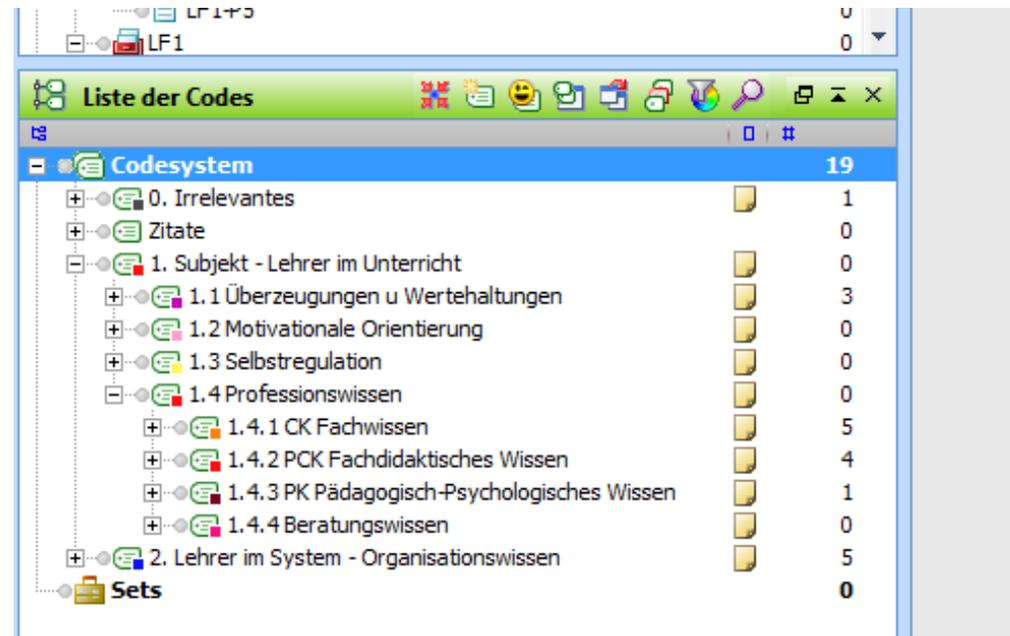
Anleitung

1. Machen Sie sich mit dem theoretischen Hintergrund der Untersuchung vertraut. Hierzu lesen Sie bitte die Theoriekapitel der Arbeit durch und diskutieren Fragen mit der Autorin.
2. Lernen Sie das Programm MAXQDA kennen. Lesen Sie hierzu das zur Verfügung gestellte Tutorial. Üben Sie den Umgang mit dem Programm zusammen mit der Autorin an Beispielen.
3. Sie erhalten das Datenmaterial von der Autorin. Das Programm speichert automatisch in regelmäßigen Abständen den aktuellen Stand. Bitte erstellen Sie zusätzlich regelmäßig eine Sicherheitskopie und benennen Sie sie nach dem Muster: yy.mm.dd-Zweitcodierung Name.
4. Das Kategoriensystem ist grundsätzlich von der Autorin vorgegeben. Bitte versuchen Sie, sich an diese Kategorien zu halten und keine neuen Kategorien zu entwickeln. Sollten Sie wiederholt auf Widersprüche stoßen, Kritik am System haben oder Änderungen für sinnvoll halten, wird dringend darum gebeten, diese mit der Autorin zu besprechen!!!! Eventuell wird dann gemeinsam entschieden, Kategorien zu ändern – das sollten Sie aber nie allein und ohne Rücksprache tun!!!!!!!
5. Einen Überblick über das Kategoriensystem erhalten Sie mit Hilfe dieser Anleitung. Außerdem ist das Kategorie-System in der MAXQDA-Datei, die Sie von der Autorin erhalten, bereits eingefügt.
6. Sie ordnen Textstellen in die Kategorien ein, indem Sie die Textstelle markieren und per drag-and-drop in die entsprechende Kategorie schieben.
7. Grundsätzlich sortieren Sie ja Aussagen der Lehrkräfte im Hinblick auf die Anforderungen, die an die Lehrkraft durch die Seminarfächer herangetragen werden. **Dabei ist davon auszugehen, dass immer dann, wenn eine Lehrkraft über ein bestimmtes Thema spricht, gleichzeitig ihr Wissen in diesem Punkt betroffen ist.** Wenn ein Lehrer also berichtet, dass Schüler Leistungen nicht erbracht haben, dann äußert er sich auf der Grundlage seines Wissens zu Schülerleistungen im Allgemeinen.

8. Bearbeiten Sie Interview für Interview – springen Sie also bitte nicht zwischen den Interviews. Codieren Sie bitte zunächst Interview A auf der ersten Kategorien-Ebene durch, dann Interview B auf der ersten Kategorienebene etc. Es ist zu erwarten, dass Sie dabei ein immer sichereres Gefühl für die Einordnung in die einzelnen Kategorien erhalten. Das bewirkt erfahrungsgemäß, dass man mit der eigenen Vorgehensweise beim ersten Codierversuch nicht mehr einverstanden ist oder beschließt, sich ab jetzt grundsätzlich anders zu entscheiden. In diesem Fall muss man die bisher bearbeiteten Interviews A (und ggf. weitere) dann nochmals bearbeiten und die entsprechenden Zweifelsfälle Umcodieren.
9. Erst wenn Sie mit der Codierung aller Interviews auf der ersten Kategorie-Ebene fertig sind, schreiten Sie fort zur nächsten Kategorien-Ebene.
10. Als Entscheidungshilfe ziehen Sie bitte die folgende Beschreibung der Kategorien mit den Ankerbeispielen zu Rate.
11. Bitte folgen Sie grundsätzlich dem vorgeschlagenen Ablauf. Natürlich können Sie, wenn Sie sich in der Kategorisierung sicher fühlen, bereits Unterkategorien mit codieren, wenn es sich gerade ergibt. Ebenso kann man natürlich Stellen, die einem „zwischen drin“ auffallen, schnell mit kategorisieren (Beispiel: Sie gehen gerade alle Kategorisierungen zu PK durch, stoßen dabei aber auf eine Stelle, wo es um Informationen von Kollegen geht, die aber beim entsprechenden Durchgang offensichtlich übersehen wurde, dann holen Sie diese Kategorisierung an dieser Stelle nach).
12. Alle Zweifelsfälle können Sie grundsätzlich mit der Autorin besprechen – entscheiden über die Zuordnung tun aber bitte Sie!

Vorbereitende Schritte

1. Die Liste der Codes sollte wie folgt eingestellt sein:



2. Die zu codierenden Interviews sollten zu Beginn jeweils einmal durchgelesen werden. Eventuell schon dann oder beim zweiten Durchgang alles „Irrelevante“ in die entsprechende Kategorie sortieren. Als Irrelevant wird alles gewertet, was mit dem Thema „Seminarfächer“ nicht zu tun hat. Genauereres siehe tabellarische Übersicht mit Ankerbeispielen.

Erster Codier-Durchgang

Alles Verbliebene (also nicht als „Irrelevant“ codierte) Material wird in eine der Hauptkategorien einsortiert.

Orientieren Sie sich dafür am Bestimmungsschlüssel auf der nächsten Seite und ordnen Sie alle Aussagen der Lehrkraft in eine der vier **Hauptkategorien** ein:

- Überzeugungen, Werthaltungen und Ziele
- Motivationale Orientierung
- Selbstregulation
- Professionswissen

Was in die Kategorie „Überzeugungen, Werthaltungen und Ziele“ alles gehört, sehen Sie zum Beispiel an den Unterkategorien von Ebene 2. Weiterhin können Sie sich an den Erläuterungen der Hauptkategorien auf den entsprechenden Seitendieser Anleitung orientieren. Sie finden dort jeweils eine stichpunktartige Beschreibung sowie Ankerbeispiele für die Kategorien.

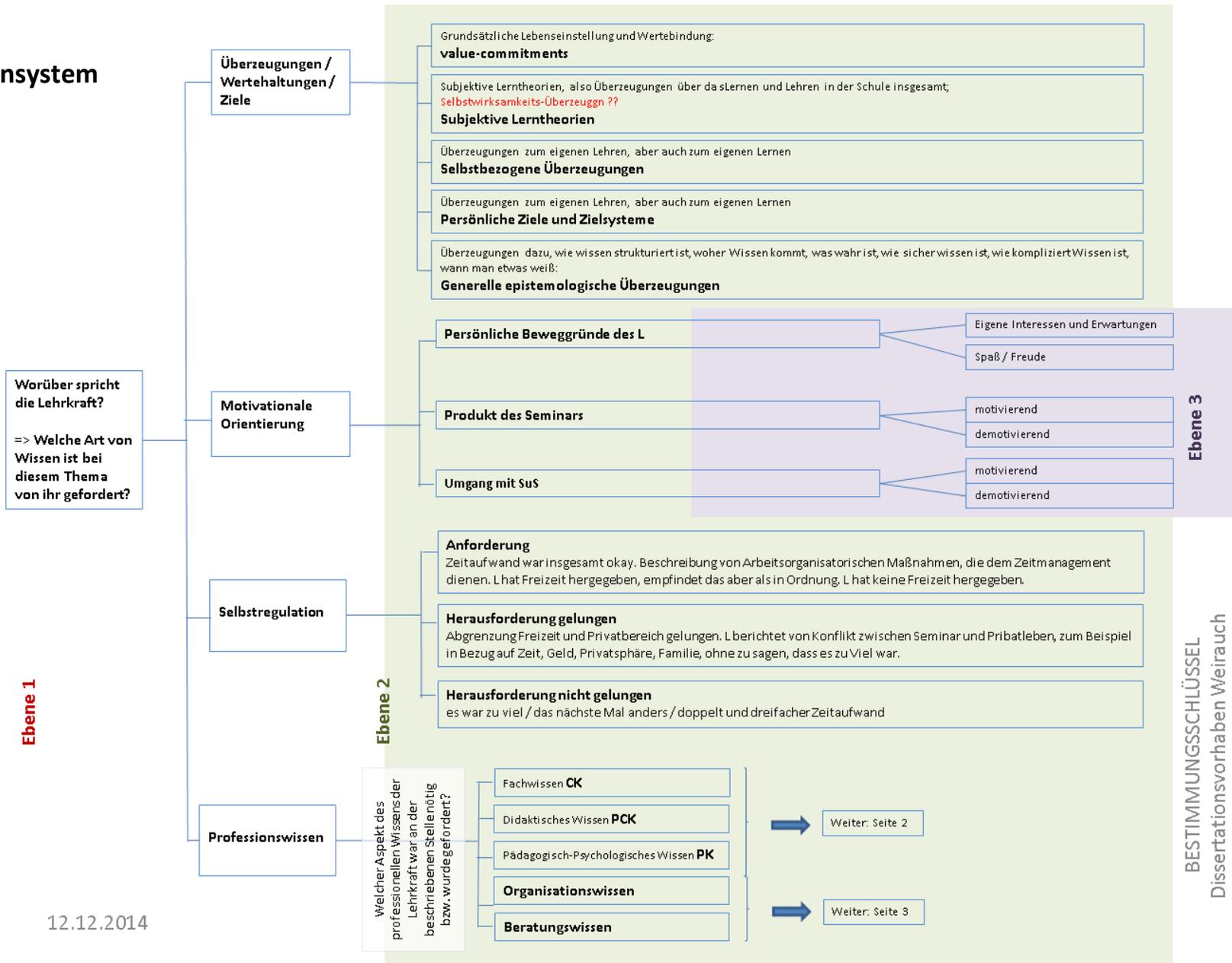
Tipp: Gegebenenfalls kann es für den einzelnen Codierer leichter sein, folgende Ansätze zu verfolgen:

- Man sortiert im Ausschlussverfahren, also zum Beispiel alles das, was nicht in „Überzeugungen etc.“, „Motivationale Orientierung“ oder „Selbstregulation“ passt, wird dem „Professionswissen“ zugeordnet.

und/oder

- Man sortiert gleich Aussagen, die offensichtlich das Fachwissen betreffen oder offensichtlich Organisationswissen sind, in die entsprechenden Unterkategorien des Professionswissens ein – und die anderen Aussagen zum Professionswissen in die Hauptkategorie „Professionswissen“ (denn diese wird im nächsten Schritt ja ohnehin nochmals überarbeitet).
- Andersherum kann man grundsätzlich gleich in die Ebene PK, PCK und CK einsortieren und nur dann allgemein ins „Professionswissen“, wenn man sich nicht schlüssig ist, um welchen genauen Teil des Professionswissens es sich hier dreht.

Übersicht Kategoriensystem



Hauptkategorie	Beschreibung	Ankerbeispiele
<p>1.1 Überzeugungen, Werthaltungen und Ziele</p> <p>Reflektiert das, worüber die Lehrkraft berichtet, eine Situation, in der die Überzeugungen und Werthaltungen der Lehrkraft gefordert sind?</p>	<p>Aussagen über Anforderungen oder Herausforderungen, die die Überzeugungen und Werthaltungen der Lehrkraft selbst betreffen, zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - grundsätzliche Lebenseinstellung und Wertebindungen ("value commitments"); persönliche Ziele und Zielsysteme; Auch: allgemeine Haltung zu Beruf und Lebenszielen; - generelle epistemologische Überzeugungen (wie ist Wissen strukturiert, woher kommt Wissen, was ist wahr? Wie entsteht Wissen? Was leistet Wissenschaft?) - "subjektive Lerntheorien", also Überzeugungen über das Lernen und Lehren in der Schule; Auch: Lehrkraft spricht über ihr Verständnis von Autorität und der eigenen Rolle als Lehrer (Bin ich wichtiger als die SuS? Ist es mir wichtig, mehr zu wissen?); 	<p>... „Lehrer: Ja, aber ich sage mal, das ist die Realität. Und damit konfrontiere ich die Schüler auch immer wieder, wenn sie sich beschwerten und sage: "Leute, meint ihr in der freien Wirtschaft werdet ihr wirklich nach Leistung allein bezahlt? Vergiss es! Wenn deinem Vorgesetzten deine Nase nicht passt, dann dann dann lässt er dich das spüren“ ...</p> <p>... „Lehrer: Wir haben jetzt, muss ich sagen, in der neunten Klasse. War ganz, ist ja Anfangsunterricht für die. Haben wir darüber diskutiert. Naturwissenschaftlicher Erkenntnisweg. Und dann eben mit dem (...) / Habe ich ihnen erklärt, was eine Theorie ist. Und dann kam am Ende der Stunde einer und sagt: "Ja wie ist denn das jetzt? Kann das jetzt sein, dass in der Forschung was rauskommt, dass wir das Ganze, dass die Lehrer alles neu lernen müssen? Weil in der Chemie alles falsch ist?" Sag ich: "Theoretisch, natürlich!" Natürlich ist das möglich! Und ich meine, es passiert ja auch punktuell. Dass man gewisse Erkenntnisse revidieren muss. Es dauert halt immer, bis es in die Schule runter sickert. Und, aber letztendlich. Ich sage immer, wir wir bringen euch gewisse Modelle, gewisse Sachen bei, die euch helfen sollen, gewissen Dinge zu erklären. Aber es ist nicht der Absolutheitsanspruch da. Dass das absolut so ist“ ...</p> <p>... „Lehrer: Also, was heißt mehr zu wissen? Aber ich bin schon so der Typ, dass wenn es Fragen gibt, dass ich die am liebsten gleich beantworte. Und schaue mir schon, gerade bei diesen Sachen, wo ich nicht viel weiß, wie bei dem BUS-Teil. Jetzt möchte Einer Berufsreferat über Astronaut halten. Und dann schaue ich mir das schon vorher genauer an, dass man den nicht irgendwie, oder dass ich nicht im Nachhinein irgendwie feststelle, der hat da ja lauter Mist erzählt //“ ...</p> <p>... „Lehrer: Richtig. Also das P-Seminar lässt meiner Meinung nach sehr viel Freiraum. Und ich muss ganz ehrlich sagen, für uns Naturwissenschaftler sollte das etwas sein, das wir auch reichlich ausnutzen.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Also nicht in dem Sinne, dass ich sage ich mache fachliche Abstriche. Und sage ich mache jetzt nur noch low-level. Sondern (...) ich sehe die Schüler als Persönlichkeit, die sich im Laufe dieses Schulprozesses entwickeln. Und ich bin eine Komponente davon und habe zufällig das Fach Chemie und Biologie“ ...</p>

<p>1.2 Motivationale Orientierung</p> <p>Spricht die Lehrkraft über Aspekte ihrer eigenen Motivation (in positivem und negativem Sinn, also auch Frustration)?</p>	<p>Lehrkraft spricht über die eigene Aussagen über Anforderungen oder Herausforderungen, die die Motivation der Lehrkraft selbst betreffen, zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Selbstwirksamkeitsüberzeugung (was kann ich bewirken? Das kann ich bewirken!) - Enthusiasmus (gegenstandsbezogen, also für die Chemie - oder Begeisterung für das Unterrichten) - sonstige motivationale Beweggründe der Lehrkraft, die als Herausforderung oder Anforderung im Seminar empfunden werden - Auch: "Negative Motivation" also Frustration 	<p>... „Lehrer: Ja. Also gerade beim W-Seminar, wo du dann auch weißt, die sollen ihre Seminararbeit da in dem Grob-Thema machen. Und du hast so ein bisschen was vorher an Stoff, den du machst. Das ist eigentlich / Es geht dann, finde ich, vom Umfang her auch was du jetzt vorbereiten musst. Und ist einfach interessant, weil du auch mal - was dich selber interessiert - halt auch mal machen kannst“ ...</p> <p>... „Aber das hat, also das hat schon Spaß gemacht, zu sehen, wie die wirklich selbstständig versuchen, da sich reinzubeißen.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Das war eher, da hatte ich da Seminar schon. Das war aber eher unabhängig vom Seminar. Das ist mir, ich weiß gar nicht mehr wann, da ist mir das einfach so gekommen. Ich bin halt - gut ich male ja auch selber. Und bin selber künstlerisch ein bisschen aktiv. Und dann, ich weiß nicht, ob das auf irgendeiner Kunstaussstellung war. Vielleicht war es auch in Kassel auf der Documenta waren im Sommer? Nein, das war schon viel früher. Und da habe ich eigentlich, einfach gedacht, dass, da könnte man eigentlich mal was draus machen.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Ich war sauer. Interviewer: Okay. Lehrer: Weil ich es eine Unverschämtheit finde. Interviewer: Und wie reagierst du da? Lehrer: Ich habe ihm das gesagt, dass ich das eine Unverschämtheit finde. Ich habe ihm ja vorher auch gesagt gehabt, was man - wie man zitiert und das man alle Quellen angeben muss und nicht einfach - also, das habe ich ihm schon gesagt, dass ich das - ja - unverschämt finde“ ...</p> <p>... „Wie gesagt, das war halt auf den Schluss zu. Haben wir dann gemerkt, es wird eng. Und dann, das hat mich selber ein bisschen frustriert. Aber es ist halt so. Dann war es auch für mich klar, man muss jetzt einen Cut machen und sagen: "Jetzt muss das Ding zum Druck." ...</p>
---	--	---

<p>1.3 Selbstregulation</p>	<p>Aussagen über Anforderungen oder Herausforderungen, die die Selbstregulation der Lehrkraft betreffen, also zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aussagen über die persönliche und familiäre Belastung durch das Seminar - über das Gelingen oder nicht Gelingen von Zeitmanagement und Selbstmanagement, also Ausgewogenheit zwischen Einsatz und Erholung - über die Abgrenzung zwischen Berufsleben und Privatleben allgemein 	<p>... „Also ich bin in der Pause in der Regel hier. Wenn jemand kommt dann habe ich jetzt auch nicht „ich habe jetzt Pause“, sondern da besprechen wir Dinge.“ ...</p> <p>... „Lehrer: (...) Nachdem mir sowas sehr viel Spaß macht, würde ich sagen: Im Rahmen. Es hat mich nicht übermäßig belastet, obwohl es natürlich viel Zeit war und viel Stress war, aber es hat wahnsinnig viel Spaß gemacht. Und der, der Zeitaufwand ist mir nicht so aufgefallen.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Je nachdem, was du sonst noch für Nachmittagsunterricht hast, ist das ein Punkt, der auch nicht unerheblich ist. Weil (...) ja, wenn du länger in der Schule bleiben musst nachmittags, und hast dafür Frühs ein paar mehr Freistunden, aber es ist trotzdem nicht so effektiv, wie wenn du sagst - was weiß ich - nur einen Nachmittag, statt zwei. Und hast daheim mehr Zeit daheim, auch mehr zu machen. Zu korrigieren, Unterricht vorzubereiten / „ ...</p> <p>... „Lehrer: Das Problem ist auch, man hat dann auch nicht als Lehrer trotz allem nicht die Zeit, sich da jetzt da / Ich stell mich ja auch nicht hin und rechne alles nach und mach da jetzt rum. Das, da wird man ja - also die Zeit ist nicht da.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Osterferien waren das dann, wo ich gesagt habe: "Also, erste Woche Osterferien bin ich, bin ich nicht da. Zweite Woche Osterferien Montag bis Freitag habt ihr Zeit und könnt ins Labor kommen."“ ...</p>
<p>1.4 Professionswissen</p>	<p>Lehrkraft spricht über ihren Unterricht und berichtet von Gelegenheiten, bei denen ihre professionelle Expertise als Lehrkraft von Belang war. Die Lehrkraft spricht also über Belange ihrer Lehrerverberufung, z. B.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fachwissen - Fachdidaktisches Wissen und Können - Pädagogisch-Psychologisches Wissen und Können - Wissen über das organisatorische Umfeld (Organisationswissen), also Wissen darüber, wie „Schule“ und das Schulsystem funktionieren (Schüler, Eltern, Kollegen, Umfeld der Schule) - Wissen darüber, wie man berät (Beratungswissen) 	<p>siehe Einzelkategorie</p>

<p>0. Irrelevantes</p>	<p>Aussagen zu Belangen, die mit der Fragestellung nach den Herausforderungen im W- oder P-Seminar Chemie nichts zu tun haben.</p> <p>0.1 Privates bzw. Non-Fach-Non-Arbeit</p> <p>0.2 Schule, aber irrelevant</p> <p>0.3 Instruktion für Interview</p> <p>0.4 Interviewer berichtet</p> <p>0.5 Organisatorisches</p> <p>0.6 Besprechung Materialien</p> <p>0.7 Lehrer berichtet</p>	<p>Schule, aber irrelevant:</p> <p>... „Dritte Person: Morgen. Lehrer Guten Morgen.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Gut, wobei ich von vornerein das ganz anders aufziehe. Ich sage von Anfang an: "Es gibt ein riesen Problem. Nämlich, dass man nicht genau weiß, wie so ein Atom aufgebaut ist". Es gibt ein, und das stelle ich auch schon in der Neunten vor, ganz kurz die Schrödingergleichung. Werfe ich an die Wand. Sage ich: "Leute, das schreibt, das beschreibt zumindest das Wasserstoffatom am genauesten. Was sagt euch das? Nichts!"“ ...</p> <p>Lehrer berichtet:</p> <p>... „Lehrer: Das Lustige ist, der XY in ABC als Referendar. Und ich habe ihn in der neunten Klasse als Referendar dann gehabt. Interviewer: Das ist ja lustig“ ...</p> <p>... „Lehrer: Ja, klar. Das ist, das haben wir jetzt schon ein paar Mal festgestellt. Es kommen ab und zu Schüler, die dann sagen: "Ja. war schön, dass sie uns so getrietzt haben. Oder was sie von uns verlangt haben, weil jetzt brauchen wir es im Studium“ ...</p> <p>... „Lehrer: Und die Lehrer dürfen auch kein Handy im Unterricht dabei haben und all so Zeug. Ja also ich bin da anderer Meinung. Ich sage, wenn ihr Lehrer seit Dürft ihr euer Handy mitnehmen. Interviewer: Also ehrlich, ich habe mein Handy schon allein aus Sicherheitsgründen dabei. Ich mein diese, diese Schule scheint ein Telefon zu haben, von dem aus man raus telefonieren kann.“ ...</p> <p>Besprechung Materialien:</p> <p>... „Interviewer: Können wir durch so ein Portfolio mal durchgucken? 00:19:52-0 Lehrer: Ja, da kannst du durchgucken. Da ist jetzt, das ist jetzt - also du wirst enttäuscht sein, weil meistens ist es BUS. Interviewer: Ich habe noch nie eins gesehen, muss ich ehrlich zugeben. (...) Okay, dieser BUS-Teil war ja bei euch ausgelagert? Lehrer: Ja, ja der BUS-Teil ist das Meiste von diesem Portfolio. Und ansonsten haben wir da hinten nur eine Zusammenfassung dessen, was sie halt gemacht haben! 00:20:18-2 Interviewer: Studium, okay, schnupp. "Berufs-Recherche" das ist jetzt auch alles im BUS passiert? Lehrer: Das ist alles im BUS passiert!“ ...</p>
-------------------------------	--	---

Zweiter Codier-Durchgang

Bei diesem Durchgang werden nur zwei besonders wichtige Unterkategorien weiterbearbeitet:

- a) Zum einen werden alle Aussagen zum **Professionswissen** im engeren Sinne spezifiziert, also dem
 - **Fachwissen CK**, dem
 - **didaktischen Wissen PCK**,
 - **pädagogisch-psychologischen Wissen PK**, dem
 - **Beratungswissen** oder
 - **Organisationswissen** zugeordnet.

- b) Zum anderen wird die umfangreiche Unterkategorie „Organisationswissen“ weiter spezifiziert und in folgende Sub-Kategorien einsortiert:
 - Kollegium
 - Schul-Organisation
 - Ministerium
 - Gesellschaftliches Umfeld - Eltern

Technische Vorgehensweise:

Ob Sie diese zwei Ansätze im gleichen Codierungsdurchgang erledigen oder in mehreren getrennten ist Ihnen überlassen. Am einfachsten lassen sich solche weitergehenden Kategorisierungen aber bewerkstelligen, indem Sie alle vier Fenster der MAYXQDA-Oberfläche öffnen. Sodann **aktivieren Sie die fünf von Ihnen kategorisierten Interviews, indem Sie die Strg-Taste halten und diese Interviews anklicken**. Sie sollten nun rot markiert sein. Im Anschluss aktivieren Sie die Kategorie, die sie erneut bearbeiten wollen – also zum Beispiel das Professionswissen. Sie erhalten folgendes Bild:

Anhang

Kategoriensystem:

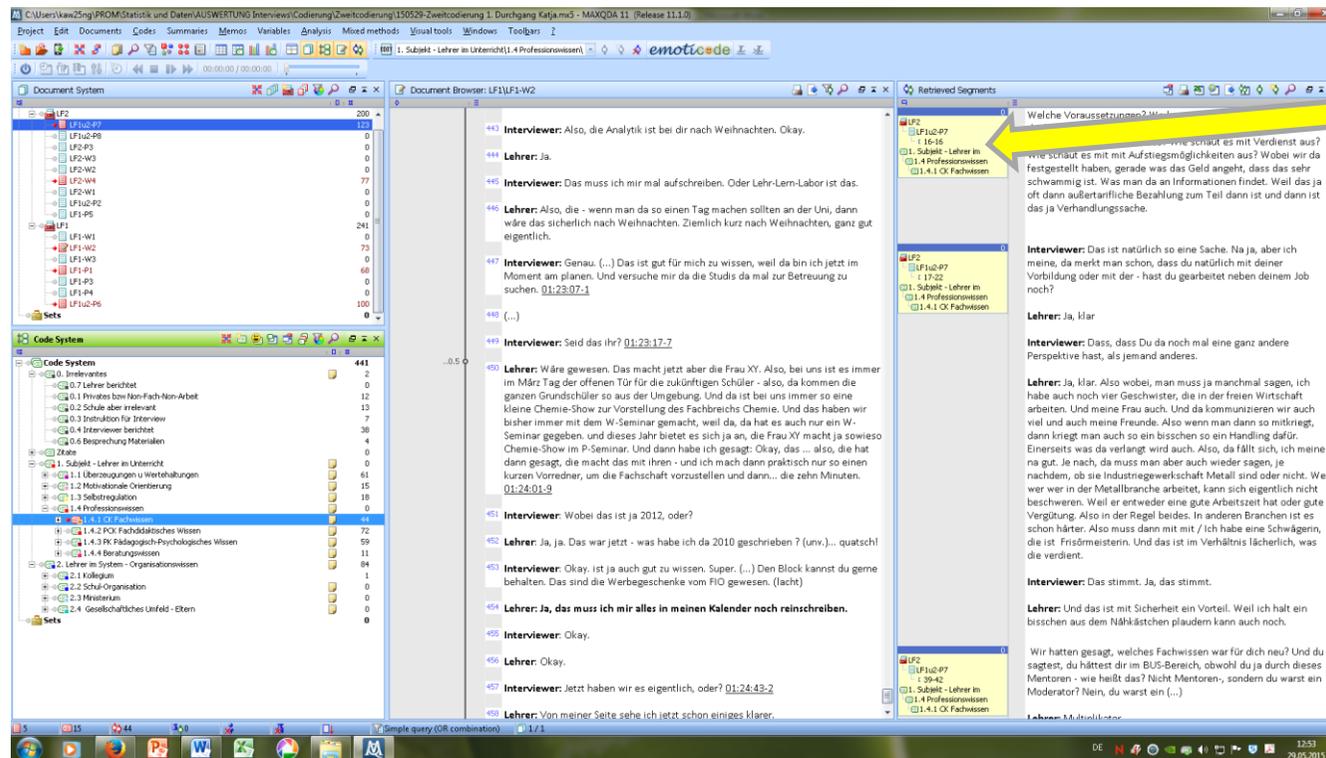
The image shows two overlapping windows from a software application. The top window, titled 'Document System', displays a hierarchical tree structure of documents. The bottom window, titled 'Code System', displays a hierarchical tree structure of codes. Both windows include a 'Sets' folder at the bottom with a count of 0.

Document System	Count
LF2	200
LF1u2-P7	123
LF1u2-P8	0
LF2-P3	0
LF2-W3	0
LF2-W2	0
LF2-W4	77
LF2-W1	0
LF1u2-P2	0
LF1-P5	0
LF1	241
LF1-W1	0
LF1-W2	73
LF1-W3	0
LF1-P1	68
LF1-P3	0
LF1-P4	0
LF1u2-P6	100
Sets	0

Code System	Count
Code System	441
0. Irrelevantes	2
0.7 Lehrer berichtet	0
0.1 Privates bzw Non-Fach-Non-Arbeit	12
0.2 Schule aber irrelevant	13
0.3 Instruktion für Interview	7
0.4 Interviewer berichtet	38
0.6 Besprechung Materialien	4
Zitate	0
1. Subjekt - Lehrer im Unterricht	0
1.1 Überzeugungen u Wertehaltungen	61
1.2 Motivationale Orientierung	15
1.3 Selbstregulation	18
1.4 Professionswissen	186
2. Lehrer im System - Organisationswissen	84
2.1 Kollegium	1
2.2 Schul-Organisation	0
2.3 Ministerium	0
2.4 Gesellschaftliches Umfeld - Eltern	0
Sets	0

Anhang

Gesamtbildschirm:



Im Fenster „retrieved Segments“ rechts klicken Sie nun jeweils auf den gelben Kasten des obersten Segments. Dadurch springt das System auch im „Document Browser“ automatisch in das entsprechende Interview an die entsprechende Stelle. Der Text ist nun auch markiert. Nun können Sie im Browser-Fenster den markierten Text in die Unterkategorie ziehen, in die Sie ihn einsortieren wollen – also zum Beispiel in CK. Vorsicht: Klicken in den markierten Text löscht die Markierung! Durch Anklicken der nunmehr „alten“ Klammer „Professionswissen“ können Sie diese aktivieren und durch rechte Maustaste und auswählen von „delete“ die alte Codierung endgültig löschen. Das Löschen der vorherigen Codierung ist nötig, damit keine Doppelcodierung in der gleichen Kategorie passiert. Weiterhin kann es natürlich dazu kommen, dass die ursprüngliche Textstelle zerteilt und die Stücke verschieden codiert werden – oder auch überlappend.

Auf diese Weise können Sie alle in „Professionswissen“ kategorisierten Aussagen untersortieren in CK, PCK, PK, Beratungswissen und Organisationswissen. Letztere Aussagen können Sie entweder gleich bei diesem Schritt in einem weiteren Schritt in die entsprechenden Unterkategorien sortieren. Im Folgenden finden Sie die genaue Beschreibung der Kategorien:

Codierleitfaden

Professionswissen

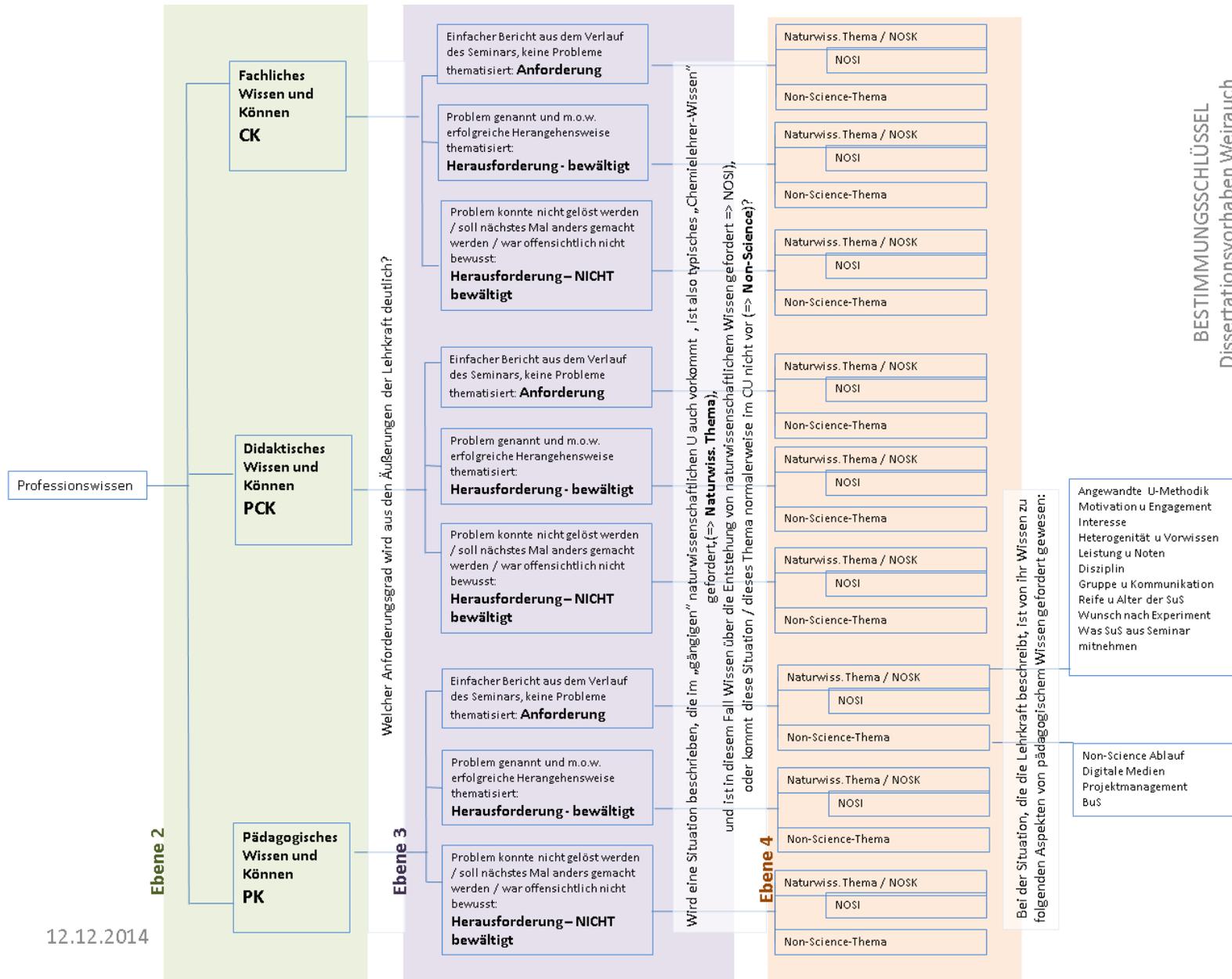
International herrscht der Konsens, dass CK, PCK und PK Bestandteile des Professionswissens von Lehrern sind. Die COACTIV-Studie rechnet auch das Beratungswissen und das Organisationswissen dazu. Aus organisatorischen Gründen werden im Folgenden die Kategorien CK, PCK und PK als ein Block beschrieben und Beratungswissen und Organisationswissen als ein Block – auch wenn Letzteres im Kodiersystem quasi „ganz oben“ bei „Lehrer im System“ angesiedelt ist. Betrachtet werden soll es während des Codierens aber auf der gleichen Ebene wie die anderen Unterkategorien.

Mögliche Entscheidungshilfe:

Um zu entscheiden, welcher Aspekt des Professionswissens sich in der Aussage der Lehrkraft spiegelt, beantwortet man sich selbst am besten die folgenden Fragen:

1. Um welches übergeordnete Thema geht es in dieser Situation? **Es geht im Grunde genommen um ...**
(z. B.: „es geht um den Unterrichtsablauf“ oder „es geht um die Motivation der Schüler“ oder „es geht um die Gefährdung beim Experimentieren“)
2. Welchen Aspekt seines Professionswissens benötigte die Lehrkraft in dieser Situation? **Die Lehrkraft brauchte in dieser Situation folgendes Wissen / die Lehrkraft zeigt durch ihre Aussagen folgendes Wissen:**

- sie musste sie auf ihr **Fachwissen** (aus der Chemie oder aus anderen Bereichen) zurückgreifen **=> CK**
- es ging um die unterrichtliche Herangehensweise, also den Weg der **Vermittlung** von Inhalten. Sie brauchte also **didaktisches** Wissen **=> PCK**
- es ging um allgemeine **pädagogisch-psychologische** Belange, die zum Beispiel Motivation, Disziplin, Leistungsmessung, Differenzierung u. ä. betrafen **=> PK**
- es ging um eine Situation, bei Lehrer und Schüler im **persönlichen** Gespräch über ein **längerfristiges, individuelles** Problem sprechen **=> BW**
- es ging um Anforderungen, die durch das Schul-System verursacht sind (individuelle Schule, Ministerium, soziales Umfeld der Schule) **=> OW**



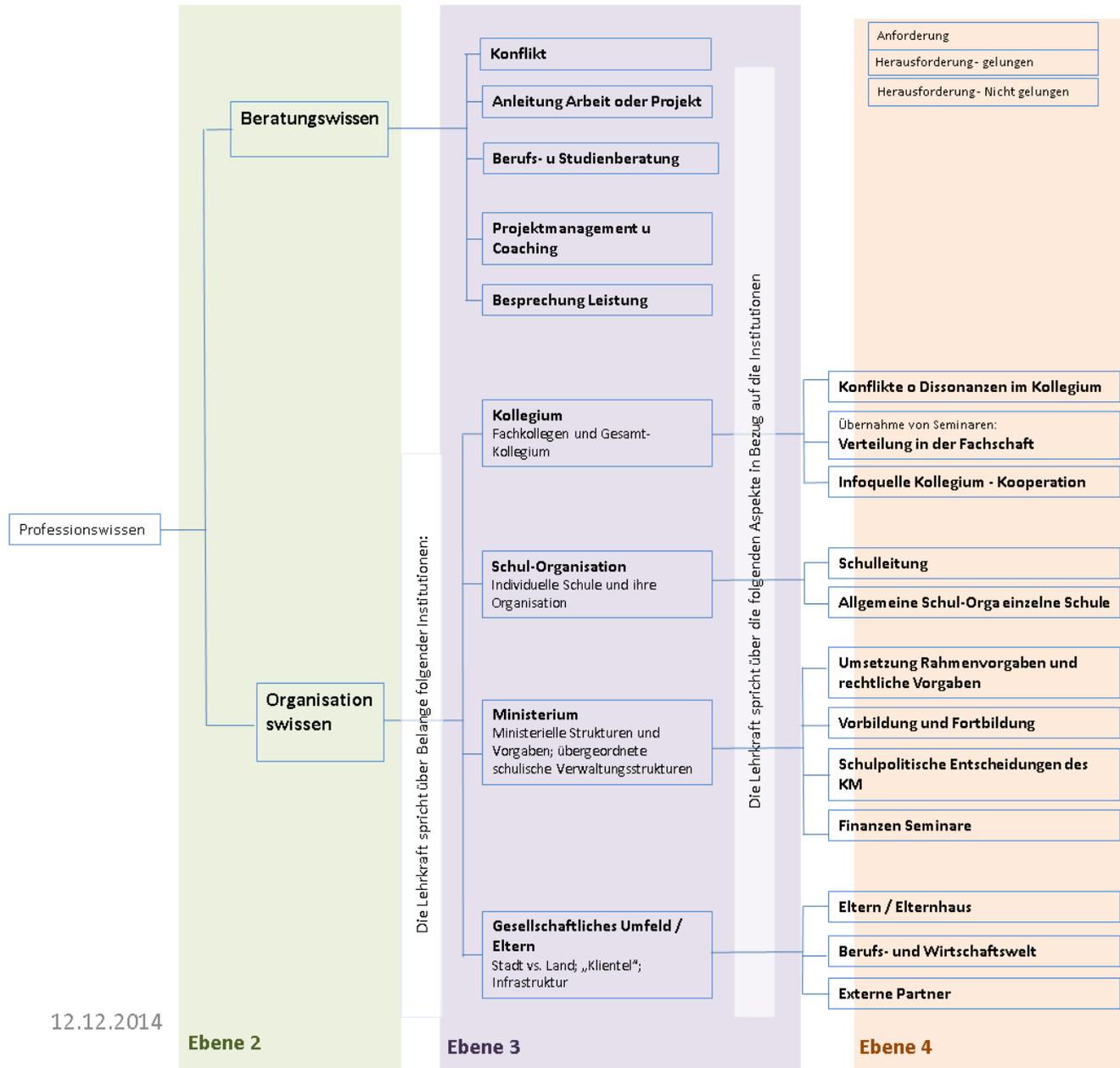
Unterkategorie	Beschreibung	Ankerbeispiele
<p>1.4.1 Fachwissen CK</p> <p>Faktenwissen der Lehrkraft für ihren Unterricht im Seminar</p>	<p>Aussagen über Anforderungen oder Herausforderungen, die das chemische oder naturwissenschaftliche Fachwissen der Chemie-Lehrkraft betreffen oder sonstiges Faktenwissen zu für die Seminare geforderten Themenbereichen, zum Beispiel Fachwissen über Berufe oder die Durchführung von Projekten.</p> <p>Zu CK gehört auch Wissen über die Natur der Naturwissenschaften (NOS), genauer:</p> <ul style="list-style-type: none"> - NOSK (nature of science knowledge): Welcher Art ist naturwissenschaftliches Wissen? und - NOSI (nature of science inquiry): Wissen darüber, wie die Naturwissenschaften Wissen generieren, also Abläufe des naturwissenschaftlichen Forschungsprozesses, - also auch grundsätzliches Wissen über Funktion und Ablauf von Experimenten oder das Wissen darum, dass bei einer Arbeit eine Fragestellung oder Hypothese bearbeitet wird und wie man in den Naturwissenschaften zitiert. <p>Zum allgemeinen Fachwissen gehört im Rahmen der Seminare auch Faktenwissen über:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Projektmanagement - Berufe und Studiengänge - Wissen über Computerprogramme und den Umgang damit (Medienkunde) - generelles Faktenwissen über Zitieren und Literaturrecherche sowie das Präsentieren und Vortragen 	<p>... „Wobei ich da eh bei der Extraktion, auch sehr einfach mit, wie gesagt, Orangenschalenöl bleiben würde und einfach Pentan oder Hexan ausschütteln. Da habe ich auch irgendeine Anweisung gefunden aus irgendeinem Materialienheft“ ...</p> <p>... „Und dann hatte ich gesagt: okay, eine beschäftigt sich mit Polymerisation, eine mit Polyaddition, eine Polykondensation, eine macht thermische Eigenschaften von Kunststoffen. Und die fünfte Gruppe macht nachwachsende, also Kunststoffe aus nachwachsenden Rohstoffen.“ ...</p> <p>... „Wo man auch mal sagen muss: "Also Leute, wenn ihr jetzt was studiert, heißt das noch lange nicht, dass ihr genau da auf dem Wege, Bereich arbeitet".“ ...</p> <p>... „Also hast du über Projektmanagement mit denen gesondert gesprochen? Lehrer: Wenig. Das möchte ich jetzt auch noch mal ein bisschen (...) / Da muss ich mich selber erst noch mal einlesen. So viel zu dem Thema, was wir, was wir (...) / Ich habe es vom Studium her haben wir es mal ein bisschen gehört. Wie läuft, wie so ein Projekt normalerweise abläuft. Es gibt ja auch so diese projektorientierten Unterricht. Wo man das auch so so anbahnen möchte. Da muss ich mir jetzt noch mal ein bisschen mit auseinandersetzen.“ ...</p> <p>... „Dann Strukturformeln holen sie sich nur aus dem Internet, mit ChemScetch malen, das hat, glaube ich, fast keiner gemacht, obwohl ich es denen gezeigt habe.“ ...</p> <p>... „Bin so ein bisschen im Zwiespalt, wie das mit dem BUS wird. Weil ich, BUS-Teil wird / Weil ich da überhaupt keine Ahnung habe“ ...</p>

<p>1.4.2 Fachdidaktisches Wissen PCK</p> <p>„Wie gehe ich spezifisch das Lehren von XY an?“</p>	<p>Das didaktische Wissen im engeren Sinne (Fischer, Borowski, & Tepner, 2012) ist das Wissen, das nur ein Chemie-Lehrer hat, also das Alleinstellungsmerkmal der entsprechenden Fach-Lehrkraft. Allerdings ist es kein erschöpfendes Merkmal: Über das fachdidaktische Wissen hinaus gibt es aber auch allgemeines didaktisches Wissen. Im Rahmen dieses Codierens soll PCK <u>weiter gefasst</u> werden. Zum didaktischen Wissen einer Lehrkraft sollen folgende Aspekte gezählt werden:</p> <p>Grundsätzlich geht es um das Wissen darum, WIE die unter CK zusammengefassten Inhalte konkret vermittelt werden bzw. wie der U bezogen auf diese fachlichen Inhalte abgelaufen ist.</p> <p>Der L spricht also z. B. darüber, WIE er etwas angeleitet hat; berichtet von genauer U-Organisation oder warum und wie er das Thema des Seminars gefunden hat.</p> <p>Konkret sind (entsprechend obiger CK-Definition) betroffen:</p> <p>Aussagen über Anforderungen oder Herausforderungen, die das fachdidaktische Wissen der Lehrkraft betreffen, also "typisches Chemie-Lehrer-Wissen" in Bezug auf das Lehren des Faches (das Kollegen anderer Fächer nicht hätten), z. B.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - fachspezifisches Vorwissen der SuS 	<p>... „<i>Es ist ja jetzt nicht, also für die Schüler auch relativ überschaubar. Und das war mir wichtig, dass ich jetzt nicht irgendwie ein kompliziertes Seminar mir raus suche. Sondern ein kleines Thema, was auch leicht bewältigbar ist.</i>“ ...</p> <hr/> <p>... „<i>Lehrer: Ja, das haben wir immer zu zweit oder zu dritt gearbeitet. Also immer in Gruppen. Und dann bin ich halt von von Gruppe zu Gruppe. Und dann halt immer ein wenig geschaut. Wie es so läuft. Welche Probleme dass es gibt. Und ja, manchmal war es mehr oder weniger chaotisch. Aber in der Regel haben wir es ganz gut hingbracht.</i>“ ...</p> <p>... „<i>Lehrer: (...) Im Prinzip habe ich vorausgesetzt, dass sie den Stoff der Klassen halt so halbwegs drauf haben. Also zehnte Klasse NTG, sage ich jetzt mal. Im Schwerpunkt SG war keiner dabei. Und insofern hatte ich schon mal eine, eine Grundbasis. Die meisten der Schüler kannte ich auch - also wusste ich quasi, was die unterrichtet haben.</i>“ ...</p> <p>... „<i>Lehrer: Am Anfang habe ich ihnen immer alles in der Chemiesammlung erklärt. War immer bei jedem Schritt dabei, was UNHEIMLICH anstrengend war. Habe dann festgestellt bei den Leuten, die W-Seminar hatten, die kennen sich sowieso aus. Die haben ihre eigenen Methoden, das so zu machen. Die eine Gruppe hat mehr so einfache Versuche gemacht.</i>“ ...</p>
--	--	--

	<ul style="list-style-type: none"> - fachspezifische Instruktionsstrategien, z. B Organisation von Experimentieren - fachtypische Repräsentations- und Erklärungsmöglichkeiten - Wissen über und Beherrschung von chemischen Experimenten - Wissen über und Beherrschung von chemischen Modellen (Gleichungen, Schemata, Systemen, ..) - Wissen über zu bewertende Wissensdimensionen der Chemie und passende Diagnosemethoden - Wissen über Schülervorstellungen und Fehlvorstellungen im Fach Chemie - Curriculares Wissen(also für die Seminare = Broschüre des ISB!) - Die Anleitung zum naturwissenschaftlichen Arbeiten bzw. didaktische Aufgaben, die das Generieren von naturwissenschaftlichem Wissen betreffen oder für die Naturwissenschaften übliche Sitten (Zitieren!) – letztlich also das an den Schüler herantragen / Didaktisieren des Wissens über NOSI <p>Außerdem:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Didaktische Aspekte der Beratung zu naturwissenschaftlichen Berufen und Studiengängen – Also: Wie lehre ich das Wissen über konkrete Naturwissenschafts-bezogene Berufe/Studiengänge? - <u>Anleitung zum</u> Umgang mit naturwissenschafts-typischen Medien und Computerprogrammen - <u>Anleitung zum</u> Projektmanagement 	<p>... „Also das hat mir jetzt viel abgenommen, weil nicht alles hier im Labor bei mir stattgefunden hat, sondern von den 12 Arbeiten manche extern waren - also in irgendwelchen andern Labors - bei Landesanstalt oder so was gemacht haben. Das waren vor allem die, die so sehr apparativ aufwendige Sachen dann gemacht haben.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Weil sie zu jung sind. Das ist hinzugekommen. Also ich vergleiche es immer mit G8/G9. G9 hat man denen ein Thema gegeben, die haben gemacht. Die waren eineinhalb Jahre älter. Und das funktioniert hier nicht. (...) Die sind wirklich, also ja, so mit so kleinschrittigen Geschichten kommen die dann wirklich an. (...) Das habe ich ihnen zehn Mal erklärt, sie kommen immer wieder. (...) Die sind so was von unselbstständig“ ...</p> <p>... „Lehrer: Wenig. Also ich habe mit ihnen besprochen, sie sie wollten unbedingt Internetrecherche machen. Und dann habe ich, haben wir halt darüber diskutiert. Also bei den (...) / Ich habe (...) / Wir haben halt dann prinzipiell geklärt, das Problem, das das Internet darstellt. Nämlich dass da jeder reinschreiben kann, was er will.“ ...</p> <p>... „Also wir haben Zeitpläne aufgestellt. Die Schüler haben versucht, dass zu überwachen, aber es hat nicht so funktioniert.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Wenig. Das möchte ich jetzt auch noch mal ein bisschen (...) / Da muss ich mich selber erst noch mal einlesen. So viel zu dem Thema, was wir, was wir (...) / Ich habe es vom vom Studium her haben wir es mal ein bisschen gehört. Wie läuft, wie so ein Projekt normalerweise abläuft. Es gibt ja auch so diese projektorientierten Unterricht. Wo man das auch so so anbahnen möchte. Da muss ich mir jetzt noch mal ein bisschen mit auseinander setzen. Möchte auch mich damit auseinander setzen. Und dann auch mit den Schülern das mal die Theorie vorstellen. Und dann auch mal sagen, wie wie kann man es jetzt in die Praxis umsetzen? Also da möchte ich jetzt, wie gesagt, schon mehr da drauf Wert legen. Mal schauen, ob es funktioniert“ ...</p>
--	---	--

<p>1.4.3 Pädagogisch-Psychologisches Wissen PK</p> <p><i>Vom Fach unabhängiges Wissen über Lernen und Lehren</i></p>	<p>Aussagen über Anforderungen oder Herausforderungen, die das grundsätzliche pädagogisch-psychologische Wissen und Können der Lehrkraft betreffen.</p> <p>Alles pädagogische Wissen, das die Methodik und die Organisation von Seminaren betrifft und fachunabhängig ist, also genauso und identisch von einem Deutschlehrer oder einem Sportlehrer gewusst werden müsste.</p> <p>zum Beispiel: L berichtet aus U-Verlauf allgemein (NICHT das "wie" der Anleitung). Die <u>methodische Herangehensweise</u> in einem Seminar und die Vorgänge darin sollen also generell als PK verstanden werden. Beispielsweise berichtet der L, die SuS hätten dies oder das getan (und der L zeigt damit durch seinen Bericht, dass er Wissen von diesem Geschehen und den SuS hat)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Entwicklungs- und Lernpsychologie; Alter und Reife der SuS - Motivation von SuS - Prinzipien und Verfahren der Unterrichtsplanung - Unterrichts-Methoden und Sozialformen allgemein - Wissen über Unterrichtsführung und Orchestrierung von Lerngelegenheiten - Effektive Klassenführung (classroommanagement), Kommunikation - Sicherstellen einer konstruktiv-unterstützenden Lernumgebung; Verhältnis Schüler - Lehrer 	<p>... „Lehrer: Ja eben. Also die (...) die, die, die (...) die Gruppierungen, die da entstanden sind - es sind keine neuen Gruppierungen entstanden. Sondern nur bestehende wurden gefestigt, sage ich jetzt mal.“ ...</p> <p>... „Aber ich glaube, diese Mädelsgruppe hätte das ohne eine Anleitung einfach nicht geschafft, gut miteinander zu arbeiten. Weil sie vielleicht auch noch zu jung sind.“ ...</p> <p>... „Lehrer: // Und dann muss man wieder sagen, woran liegt es? Und dann muss man halt, kommt die Diskussion „Familie – Beruf“. Kommt auf jeden Fall. Und das finde ich, muss man auch andiskutieren. Ich meine, das ist für die noch GANZ weit weg. Aber auch dann diese Frage, wenn man zum Beispiel zum Doktor geht, ja und dann bin ich Facharzt, wenn ich 35 bin! Und dann habe ich gesagt: "Was ist mit Familie?"“ ...</p> <p>... „Aber ansonsten habe ich eingegriffen im Sinne von zusätzliche schlechte Noten machen oder / Ich meine, das hat sich ausgewirkt, weil es gab ja auch eine Materialmappe sage ich jetzt mal - oder Portfolio - zum Prozess, wo sie dokumentieren sollten: Was waren die Fragen? Was habe ich recherchiert? Was ist rausgekommen? Was kam im Beratungsgespräch raus? Und bei den Schülern, die halt da eben auch nicht, Nichts gemacht haben, war natürlich die Bewertung dieses Portfolios entsprechend mäßig bis schlecht. Also durchaus auch unter fünf Punkten, ja. Aber ansonsten habe ich nicht eingegriffen, das war den Schülern aber, glaube ich, schon klar, dass es nicht gut ist.“ ...</p>
---	--	---

	<p>- Prinzipien des Diagnostizierens, Prüfens und Bewertens, also Thema Benotung / Noten machen</p> <p>- Wissen über generelles Vorwissen und Können der SuS, zum Beispiel in Bezug auf den Umgang mit dem Computer</p> <p>Weiterhin:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Allgemeine Unterrichtung zu Berufen und zum Studieren / Berufsberatung (nicht ihre konkrete Umsetzung im U) - Allgemeine Medienkunde / Umgang mit modernen Medien und Computer - Kommunikation mit den SuS – auch über moderne Medien Methodenwissen und -können zum Thema Projektmanagement (z. B. Mentoring- und Coaching-Methoden; Also NICHT Wissen darüber, wie man es den Schülern beibringt und KEIN reines Faktenwissen zu Projektmanagement) - 	<p>... „Wie war die Kommunikation in eurem Seminar organisiert? (unv.) Lehrer: Also viel über mailen. Weil ja die / Also mal ab Februar ungefähr war ja die Phase des individuellen Arbeitens angesagt. Und da waren die ja gar nicht mehr regelmäßig in, jetzt im Unterricht. Und ich habe denen dann halt immer eine Mail geschickt und gesagt: "Okay, jetzt findet mal wieder ein Seminar statt!" Oder habe die / Die haben dann einzelne Termine ausgemacht zur Beratung.“ ...</p>
		<p>... „Lehrer: Und dann hat er es 1:1 aus dem Internet gehabt. Zusammengestöpselt aus verschiedenen Seiten. Und dann war er ganz baff, als ich dann - was mir schon spanisch vorkam - beim Durchlesen daheim, habe ich mir gedacht: "Sag mal, der schreibt ein Zeug, das passt vom Zusammenhang gar nicht, das kann der gar nicht verstanden haben!" Und dann habe ich das googeln angefangen. Und dann hatte ich recht schnell die entsprechenden Absätze. Habe es auch komplett markiert, was aus welcher Seite kopiert war und dann gesagt gehabt: "Du weißt ja schon, das wären null Punkte, wenn du das so abgegeben hättest." "Was, wieso?" Dann habe ich gesagt, das wäre ein Plagiat. Also, es wäre ein, ein reines Plagiat, was anderes wäre es nicht. "Wieso, ich habe doch Internetquellen benutzt" ...</p>



BESTIMMUNGSSCHLÜSSEL
Dissertationsvorhaben Weirauch

12.12.2014

Unterkategorie	Beschreibung	Ankerbeispiele
<p>Beratungswissen</p>	<p>Aussagen über Anforderungen oder Herausforderungen, die das Beratungswissen der Lehrkraft betreffen, zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Wissen über die grundsätzliche Organisation und Durchführung eines individuellen Beratungsgesprächs - Wissen über Mentoring- oder Coaching-Verfahren oder sonstige Methoden zur Anleitung eines Gruppengesprächs - Wissen darüber, wie ich ein Team berate <p>Die Lehrkräfte äußern sich zu Aspekten von Beratungswissen, wenn:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es um eine Situation geht, bei der ein Berater und ein Ratsuchender im persönlichen Gespräch über ein Problem und Strategien zu seiner Lösung sprechen. Dabei geht es um ein individuelles Problem, das nur diesen Schüler betrifft und bei dem der Berater / Lehrer den Schüler längerfristig begleitet, wie zum Beispiel eine individuelle Seminararbeit oder Belange der Berufs- oder Studienwahl. - Beratungswissen ist NICHT nötig, wenn es um ein „normales“ Unterrichtsgespräch mit einem oder mehreren Schülern geht. - Beratungswissen ist NICHT gefordert, wenn die Lehrkraft die Schüler innerhalb eines Projekts anleitet. 	<p>... „Ich habe sie auch darauf angesprochen. Ich habe gesagt: "Also sage mal! Du kannst doch nicht so ein Bild in Facebook stellen. Von irgendwelchen halbnackten Mädels!" "Warum? Finde ich toll!" Sage ich: "Junge! Das schauen" // [...]</p> <p>Lehrer: // Die finden das ja auch noch toll, auf irgendwelchen Parties. Wo ich dann sage: "Junge, das schaut später mal möglicherweise dein zukünftiger Arbeitgeber an. Es gibt Firmen, die stellen jemanden ab, der surft NUR nach euch. Der der der forscht euch aus!". "Na und?". Sage ich: "Hallo!" ...</p> <p>... „Also ich habe da dieses dieses Personalgespräch nach dem zweiten Semester. Und da habe ich auch (...) / Also ich habe mir das daheim überlegt. Ich habe // [...]</p> <p>Und ich habe mir halt daheim angeguckt (...) / Also es hieß soll (...) / Ich habe ihnen die Hausaufgaben gegeben, sie sollen sich aufschreiben, was habe ich bisher gemacht? Einmal mit einer Gesamtgruppe, einmal in der kleinen Gruppe. Welche Leistungen habe ich erbracht? Und dann (...) / Ich habe mir das daheim eben dann aufgeschrieben, wie wie ich sie im Augenblick einschätze. Wie viele Punkte ich ihnen geben würde auf ihr Arbeit in der großen Gruppe. Auf ihr Einbringen in der kleinen Gruppe. Und dann habe ich das auf einen Zettel geschrieben und habe das zugedeckt. Und dann habe ich gesagt: "Also". Dann habe ich eben angefangen. Habe gefragt, wo er sie sich selber sieht in der Gruppe, wie er glaubt, dass er sich einbringt und wie er seine Leistungen beurteilt.“ ...</p> <p>... „Und in dieser einen Gruppe gab es ja Schwierigkeiten. Und da habe ich mir dann die Leute einzeln rausgenommen und hatte Einzelgespräche. Und ja, war halt auch bei manchen sehr tränenreich. Weil sie sich einfach von dem Team unverstanden gefühlt haben. Oder einfach nicht gut zusammengearbeitet haben. Und //</p> <p>Interviewer: // Das heißt, Sie haben richtiges Coaching gemacht //</p> <p>Lehrer: // Ja. Und dann haben wir auch noch mal über Kommunikation gesprochen. Über //</p> <p>Interviewer: // Mit der (...) Mit wem? Mit den Einzelnen? //</p> <p>Lehrer: // Mit den einzelnen Leuten habe ich erst über Kommunikation gesprochen. Über Verbesserungsmöglichkeiten“ ...</p>

Organisationswissen	Die Lehrkraft berichtet über Anforderungen/Herausforderungen im Zusammenhang mit den Seminaren, die durch das System verursacht sind. Unter "System" wird dabei die Schule als Organisation mit ihren beteiligten Personen (Lehrkräfte, Schüler), organisatorischen Einheiten (Schulleitung, Kollegium, Fachkollegen) und weiteren formalen Rahmenbedingungen wie dem Ministerium und seinen Vorgaben sowie das weitere schulische Umfeld (Eltern, gesellschaftliches Umfeld - Stadt, Land) verstanden.	<i>(siehe einzelne Sub-Kategorien)</i>
----------------------------	--	--

Organisationswissen

Aussagen der Lehrkräfte, die das „System Schule“ betreffen (und bei denen somit ihr Wissen über die „Organisation Schule“ gefordert ist), sollen pragmatisch nach den Teilen dieses Systems sortiert werden, nämlich in die Kategorien:

- Kollegium
- Schul-Organisation
- Ministerium
- Gesellschaftliches Umfeld - Eltern

Unterkategorie	Beschreibung	Ankerbeispiele
<p>Organisationswissen Kollegium</p>	<p>Die Lehrkraft berichtet über Gegebenheiten, bei denen das Kollegium oder Kollegen maßgeblich für das eigene Seminar waren, zum Beispiel</p> <ul style="list-style-type: none"> - Konflikte oder Dissonanzen - Als Informationsquelle / zur Kooperation - Absprachen in der Fachschaft 	<p>... „Lehrer: Nein, das stimmt nicht so ganz. Ich habe (...) Ich habe da eine gute Beratungsquelle gehabt. Unsere XY. Die macht schon seit Jahren XX- und YY-P-Seminare. Und hatte dann auch schon unter anderem diese Fälle, dass die Schüler nicht miteinander kommuniziert haben. Hat mir auch Literaturquellen genannt. Und hat mir dann auch teilweise mit Ratschlägen zur Seite gestanden.“ ...</p> <p>... „Das heißt, wo hattest du in Unstimmigkeiten geführt? Lehrer: Also es hat vor allem zwischen den unterschiedlichen P-Seminaren. Weil die, die Noten, die Notengebung, die Notenfindung ist nicht einheitlich geregelt.“ ...</p>
<p>Organisationswissen Schul-Organisation</p>	<p>Die Lehrkraft berichtet von Aspekten der Schul-Organisation im Zusammenhang mit den Seminaren, z. B. in Bezug auf die</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schul-Leitung (Vorgaben, Direktiven, Aufgabenteilung, ...) - Organisation der Seminare an der individuellen Schule (z. B. Wahlverfahren, Notengebung, Präsentations-Veranstaltungen etc.) 	<p>... „Und dann hatten die aber auch noch mal hier an der Schule direkt einen Vortrag von unserer zweiten Chefin. Alle P-Seminare zusammen. Und mussten dann so kleine Arbeitsaufträge ausfüllen“ ...</p> <p>... „Also die haben auch für den Präsentationsabend (...) haben wir ja dann (...) / In der Aula werden ja die, müssen ja die einzelnen Seminare dann ihr ihre Ergebnisse vorstellen. Und das ist eigentlich ganz schön gemacht.“ ...</p>
<p>Organisationswissen Ministerium</p>	<p>Die Lehrkraft spricht über durch das Ministerium bestimmte Aspekte des Seminars, zum Beispiel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rahmenvorgaben und rechtliche Bestimmungen zur Umsetzung der Seminare; ISB-Broschüre, BuS-Ordner - Vorbildung und Fortbildung der Lehrkräfte - Schulpolitische Entscheidungen des KM im Zusammenhang mit den Seminaren (im weiteren Sinne) - Finanzielle Aspekte im Zusammenhang mit den Seminaren 	<p>... „Lehrer: Mit einem von den BUS-Heften. Das müsste das A-Heft sein. A oder B. Da müsste ich jetzt / Interviewer: Sind das die vom ISB oder? Lehrer: Genau“ ...</p> <p>... „Lehrer: Also, nein. Also sehe ich jetzt nicht so. Am Anfang klar, weil man überhaupt nicht gewusst hat, was auf einen zukommt. Trotz der Fortbildung, die man da selber gehalten hat. Es war, es ist halt trotzdem was anderes, wie wenn man sagt, man redet über das Schwimmen oder man liegt im Wasser“ ...</p> <p>... „Ein P-Seminar ist immer mit Geld verbunden. Und die Schwierigkeit jetzt zum Beispiel, wenn du tatsächlich nach außen gehst, ja, dann wäre es ganz schön, wenn man einen finanziellen Rückhalt hat, den man anzapfen kann. Du bist ja immer darauf, also darauf angewiesen, dass du dir deine Sponsoren suchst. Machen die Schüler auch, ist auch okay, aber du kriegst halt nicht so viel, ...</p>

<p>Organisationswissen Gesellschaftliches Umfeld und Eltern</p>	<p>Die Lehrkraft berichtet im Zusammenhang mit den Seminaren über gesellschaftliche Belange, zum Beispiel im Zusammenhang mit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Den Eltern / dem Elternhaus / dem heimischen Umfeld der SuS - Der Berufs- und Wirtschaftswelt - Externen Partnern 	<p>Eltern</p> <p><i>... „Ich sage mal, im Durchschnitt sind es, kommen sie aus sehr gebildeten Elternhaus und kriegen von daher schon ein bisschen dieses Ding mit. ... Und da merkt man schon, dass die Eltern auch möchten, dass ihre Kinder sich damit auseinander setzen. Dass sie sich orientieren. Und eben im Zweifelsfall ein Praktikum machen.“ ...</i></p> <p><i>... „Die Eine war in der, hat / Da arbeitet der Papa in der Kläranlage. Hat sich damit beschäftigt. Also mit Kläranlage. Und und und mit den ganzen Details.“ ...</i></p> <p>Wirtschaftswelt</p> <p><i>... „Wir haben aber auch probiert, und das Problem ist, dass die Schulbuchverlage sagen: "Es gibt SO viel Material, es ist eigentlich uninteressant" ...</i></p> <p>Externe Partner</p> <p><i>... „Seitens der Firmen - die finden es ganz nett, wenn mal ein Praktikant kommt, aber jetzt so mit einem ganzen Seminar über längere Zeit, dazu müssten mehr in den in, denke ich, mehr in den Bereich gehen, was für die Firmen auch was bringt, in Führungszeichen. Dass man sagt, man hat eine Problemstellung seitens einer Firma und versucht daran zu arbeiten. Das ist für die einfach eine Frage der Zeit und der Kapazität.“ ...</i></p>
--	--	---

Dritter Codier-Durchgang

Diese Arbeit will vor allem klären, welche neuen Anforderungen durch die Seminarfächer an die Gymnasiallehrkräfte herangetragen werden. Stellt man diese Frage an das Material, so hat sich gezeigt, dass es sinnvoll und hilfreich ist, die Aussagen der Lehrkräfte als nächstes nach diesem Aspekt zu sortieren. Folgende klassifizierenden **Kategorien** sind induktiv aus dem Material ermittelt worden:

- *Anforderung*
- *Herausforderung – bewältigt*
- *Herausforderung – nicht bewältigt*

Nicht alle Oberkategorien lassen sich sinnvoll in diese Unterkategorien einteilen – zum Beispiel Gegebenheiten, bei denen die „Überzeugungen und Werthaltungen“ einer Person betroffen sind, können schwerlich danach bewertet werden, ob jemand den damit zusammenhängenden Anforderungen gerecht werden konnte, oder nicht. Überzeugungen sind definitionsgemäß individuell und damit in diesem Zusammenhang nicht „bewertbar“. Ähnlich verhält es sich mit der Motivationalen Orientierung der Lehrkraft.

Im Gegensatz dazu lassen sich die Aussagen der Lehrkräfte sowohl zur Selbstregulation der Lehrkraft als auch zu ihrem Professionswissen im engeren Sinne nach diesen Kategorien einteilen.

Auf dieser Ebene sind **Doppelcodierungen innerhalb einer Haupt-Kategorie verboten!** Sie müssen eine **entweder-oder-Entscheidung** fällen! (Zwischen den Kategorien kann es aber Unterschiede geben! Wenn Sie zum Beispiel den gleichen Abschnitt sowohl CK als auch PCK zugeordnet haben, kann die Aussage in Bezug auf PCK zu Anforderung codiert werden, während CK zu Herausforderung – nicht bewältigt codiert werden kann – je nach Aussage der Lehrkraft.

Folgende Axiome sollen dabei gelten:

Klassifizierende Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiele
Anforderungen	Die Lehrkraft berichtet, wie der Unterricht im Seminar abgelaufen ist bzw. wie einzelne Seminarphasen abgelaufen sind oder erzählt von den verschiedenen Ereignissen oder Inhalten. Dabei werden keine besonderen Probleme thematisiert, sondern einfach davon berichtet (– womit deutlich wird, dass die Lehrkraft offensichtlich Wissen in diesem Bereich besitzt). Der Zeitaufwand wurde als ok empfunden.	<p>... „Wo ich dann gesagt habe: "Ein Buchverlag. Lesen musst du da und du". Und was in einem Lehrbuch steht, davon kann ich ausgehen, dass das nicht Irgendjemand irgendwann mal so schnell geschrieben hat. Sondern dass das eben passt.“ ...</p> <p>... „In Elf-Eins war es klar von vornherein. Jeder muss ein Referat halten. Haben wir auch gleich in der ersten oder zweiten Stunde die Kriterien was diesen Inhalt, Inhalt angeht. Und ich habe ihnen eine Bewertungsmatrix vorgelegt, wann dann dieser ich das die Benotung mache.“ ...</p>
Herausforderungen – bewältigt	Die Lehrkraft berichtet aus ihrem Unterricht und thematisiert Probleme oder Herausforderungen: <ul style="list-style-type: none"> - „schwierig war“ ... - „ein Problem war“ ... - „wir haben länger gebraucht, um“ ... Dabei wird offensichtlich, dass diese Probleme erkannt und angegangen wurden. Spricht eine Lehrkraft davon, wie sie in Zukunft vorzugehen plant, dann gilt die Herausforderung als bewältigt, wenn die Lehrkraft wichtige Aspekte offensichtlich berücksichtigt hat und sich aktiv überlegt hat, mit welcher Strategie sie die zukünftige Aufgabe anzugehen gedenkt. Der Zeitaufwand wird als problematisch thematisiert, und Lösungsansätze gesucht bzw. Maßnahmen ergriffen.	<p>... „Das Rohr war viel zu dick, man konnte es, die, das gar nicht, Hundehaare oder Menschenhaare gar nicht so stark verdichten, dass der Durchfluss zu stark behindert war. Dann war die Überlegung, sie biegen selbst ein Glasrohr. Dann mussten sie sich erst mal mit der Technik, also erst mal darauf zu kommen. Das im Kleinen zu machen und dann eben auch mit der Technik sich auseinandersetzen. Dann musste man wieder dabei bleiben. [...] Dann haben sie, sind sie dann selber darauf gekommen. Die haben dann einen Trichter oben drauf. Ganz dicht gemacht. Und haben gemessen, in welcher Zeit ist durch das verstopfte Rohr durchfließt. [...] Lehrer: Ja, aber das DAUERT halt! Das dauert.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Ja, deswegen ist es ja auch "Chemie in der Grundschule", weil ich keine Lust gehabt hätte jetzt mit irgendwelchen Gefahrstoffen umzugehen, bei denen ich immer im Prinzip da sein muss und ein Auge darauf werfen muss, wo vielleicht was passieren kann, was Gefährliches ist.“ ...</p>
Herausforderungen – nicht bewältigt	a) Die Lehrkraft berichtet aus ihrem Unterricht und thematisiert Probleme, die nach ihrer Aussage nicht gelöst werden konnten: <ul style="list-style-type: none"> - „Das haben wir nicht hingekriegt“ - „daran sind wir letztlich gescheitert“ - „das nächste Mal werde ich das anders machen“ 	<p>... „Bin so ein bisschen im Zwiespalt, wie das mit dem BUS wird. Weil ich, BUS-Teil wird / Weil ich da überhaupt keine Ahnung habe.“ ...</p> <p>... „Lehrer: Ich hab auch denen gesagt gehabt, wenn es um Zitate, Quellenangaben gegangen ist, wo ich immer gesagt habe: "Guckt, ihr habt das / wir haben extra /" Auf dem Handout, ich habe geguckt, dass es genauso draufsteht, wie ich es haben möchte. Gesagt: "Guckt auf das Handout, da steht es!" Ständig! Da kommen trotzdem wieder Fragen. In dem Moment, wo das Referat gehalten wird, ist es nicht so extrem wichtig. Da kommen zwar ein paar Nachfragen, aber ja, ja, ist ja noch weit weg“ ...</p>

<p>weiter: Herausforderungen – nicht bewältigt</p>	<p>b) Außerdem gehören in diese Kategorie Aussagen, bei denen deutlich wird, dass die Herausforderung nicht erkannt wurde:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Der Lehrkraft war nicht bewusst, dass Projektmanagement ein vom ISB vorgesehenes Thema im P-Seminar ist - Der Lehrkraft war nicht bewusst, dass im P-Seminar ein Portfolio anzufertigen ist. - Der Lehrkraft war nicht bewusst, dass man Quellen zitieren muss, - etc. <p>c) Die Lehrkraft spricht von dem, was sie vor hat und es wird deutlich, dass sie zu diesem Zeitpunkt unrealistische Vorstellungen hat, sich nicht ausreichend über die Durchführung der Seminare informiert hat oder generell relativ planlos ist, ihr zu diesem Zeitpunkt also Vorbildung zur Durchführung der Seminare fehlt.</p> <p>d) Der Zeitaufwand für das Seminar wird als nicht akzeptabel bezeichnet oder geäußert, dass die Lehrkraft das nächste Mal diesbezüglich anders vorgehen will.</p>	<p>... „Lehrer: Ich denke im Nachhinein würde ich es anders aufziehen. Ich würde die viel früher auf ihr Thema festnageln.“ ...</p> <p>... „Und das bestimmt auch schlau, die in Gruppen einzuteilen und das in kleinen Portionen zu machen. Lehrer: Es geht / Also im ersten Seminar habe ich es nicht gemacht und das war Katastrophe!“ ...</p> <p>... „Lehrer: Also ich, ich bezeichne jetzt mal meine Vorgehensweise als einfach Learning per Doing. Und im Nachhinein sage ich: "Ja, ich müsste mir jetzt Projektmanagement stärker aneignen." Das heißt, ich müsste mir Termine setzen. Bis zu dem Zeitpunkt, wo bis zu dem Zeitpunkt bestimmte Dinge eben stehen müssen. Interviewer: Für dich in der Vorbereitung oder im Seminar // Lehrer: // Nicht für mich in der Vorbereitung, sondern im Seminar. Also das Projektmanagement in dem Sinn, dass man eben einen Ablaufplan zum Beispiel hat. Und ich merke jetzt, dass in den, in der letzten Phase relativ viel passiert“ ...</p> <p>... Lehrer: Also, das ist ein bisschen peinlich, ich weiß natürlich nicht genau. Also mein Modul heißt "Assessment Center". Interviewer: Okay, das heißt // Lehrer: // Und ich // Interviewer: // Weiß ich auch nicht. Also Sie haben diesen von der Berufsvorbereitung her, das ist bei Ihnen in verschiedene Themen unterteilt, oder wie? Weil das ISB hat das // Lehrer: // Das ist vorgegeben. Das ist vom Lehrplan, denke ich, vorgegeben. Interviewer: Echt, ok.“ ...</p>
---	--	--

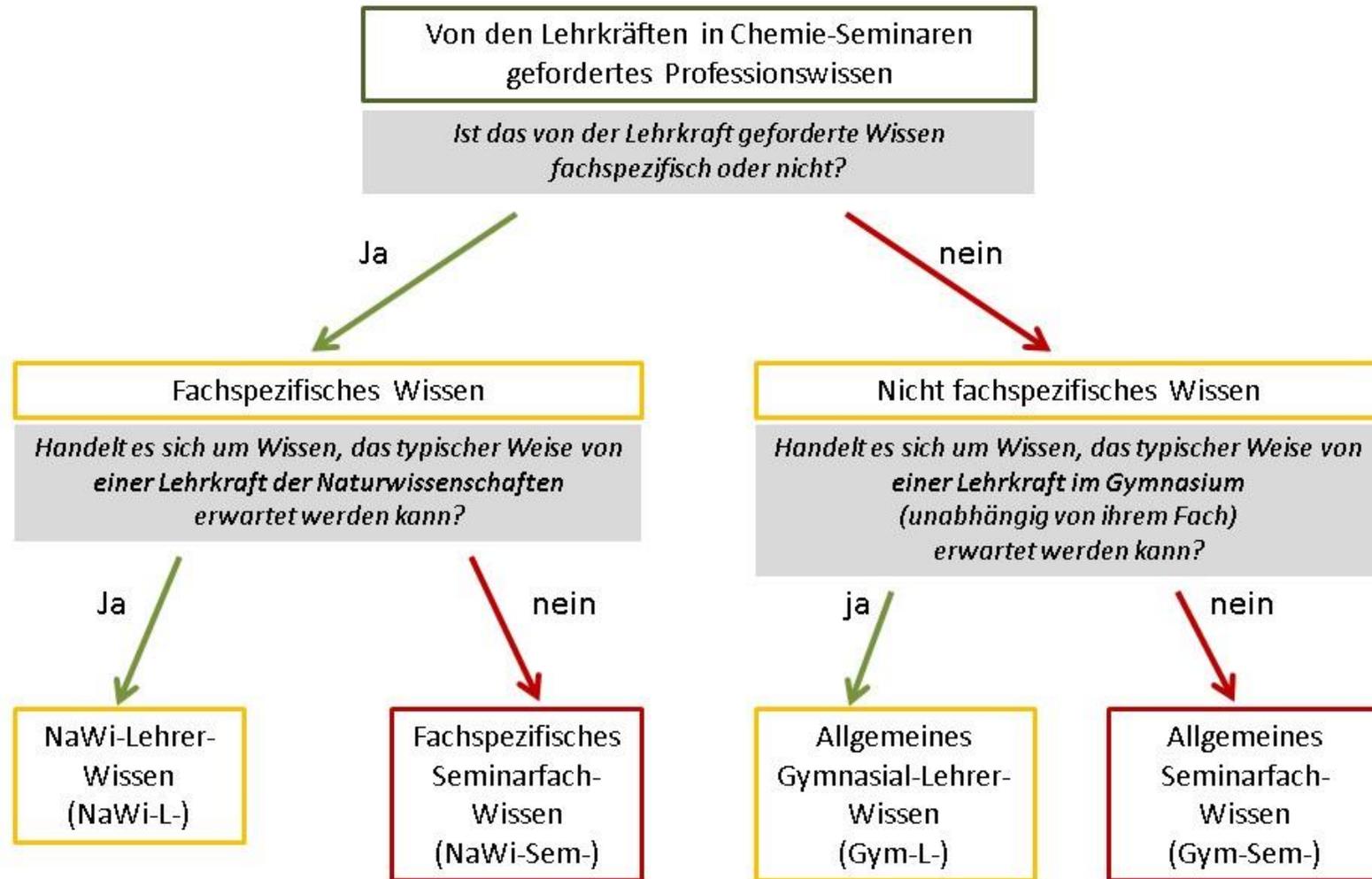
Vierter Codier-Durchgang

Neben dem Anforderungsniveau hat sich gezeigt, dass das von den Lehrkräften geforderte Wissen verschieden fachspezifisch ist. Häufig brauchen die Lehrkräfte Wissen, das eine „normale“ Gymnasial-Lehrkraft haben sollte (Gym-L). Immer wieder wird in den Chemie-Seminarfächern aber natürlich auch Wissen gefordert, das nur von Lehrkräften der Naturwissenschaften erwartet werden kann (NaWi-L-). Besonders interessant ist aber natürlich auch, zu sehen, ob es Wissen gibt, das von einem Gymnasiallehrer – auch einem der Naturwissenschaften – eigentlich nicht erwartet werden kann, das aber offensichtlich im Seminarfach gebraucht wird. Solches Wissen soll hier als „Seminarfach -Wissen“ (Sem-) bezeichnet werden.

In Bezug auf die **Fachspezifität** sind daher folgende klassifizierenden **Kategorien** induktiv ermittelt worden:

- *Fachunabhängiges Gymnasial-Lehrer-Wissen* (Gym-L-)
- *Fachspezifisches Science-Lehrer-Wissen* (NaWi-L-)
- *Fachunabhängiges Seminarlehrer-Wissen* (Gym-Sem-)
- *Fachspezifisches Science-Seminarlehrer-Wissen* (NaWi-Sem-)

Diese Kategorien sollen nominalskaliert behandelt werden, auch wenn sie es streng genommen nicht sind. „Nominalskaliert“ bedeutet, dass auf die zu codierenden Einheiten nur eine ODER die andere Kategorie zutreffen kann. Man codiert solche Kategorien also im Sinne eines „**entweder – oder**“. Um dies sicher zu stellen, soll das Codieren nach folgendem dichotomen **Bestimmungsschlüssel** passieren:



Klassifizierende Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiele
Fachunabhängiges Gymnasiallehrer- Wissen GymL-	<p>In der beschriebenen Situation ist von der Lehrkraft Wissen gefordert, das ein „normaler“ Gymnasiallehrer üblicherweise haben sollte.</p> <p>„Meine Kollegen aus dem Fach Deutsch / Latein / ... sollten das wissen“</p>	<p>... „Sondern die hatten ja zum Beispiel ein Referat zu einem analytischen Verfahren vorzubereiten, was jetzt mittelmäßig oder schwachen Schülern leichter fällt, als mit Fragen konfrontiert zu werden, die (...) ja, von denen sie vorher nicht genau wissen, (...) wie sie sie einschätzen sollen.“ ...</p> <p>... „Natürlich gab es immer wieder Situationen, wo ich denen auf die Füße treten musste, dass sie mal in die Gänge kommen. Aber es war nie so, dass sie irgendwie uneinsichtig waren. Sondern, die wissen ja, dass sie faule Wesen sind und nichts machen. Konflikte zwischen den Schülern habe ich nicht beobachten können.“ ...</p>
Science-Lehrer- Wissen ScL-	<p>In der beschriebenen Situation ist von der Lehrkraft Wissen gefordert, das ein „normaler“ Lehrer der Naturwissenschaften im Gymnasium üblicherweise haben sollte.</p> <p>„Meine Fachschaftskollegen und auch die Kollegen aus der Physik oder Biologie sollten das wissen“</p>	<p>... „natürlich musste ich viel vorbereiten. Ist musste eben nochmal - also nicht durchprobieren, sondern ich musste halt immer schauen: "Können sie es? Ist es zu gefährlich? Ist es nicht gefährlich? Sind die Chemikalien da?"“ ...</p> <p>... „Und wie du ja selber festgestellt hast, da waren ja bei einigen einfach gar keine Fragestellungen da. Also habe ich dann in der, in der. Ich weiß nicht, ob es gleich die Woche darauf war, aber irgendwann bei der nächsten Recherchestunde praktisch, bin ich da drauf eingegangen, dass, dass jeder praktisch hier wirklich eine Fragestellung rausarbeiten muss.“ ...</p>
Fachunabhängiges Seminarfach-Wissen Gym-Sem-	<p>Dieses Wissen kann von einem „normalen“ Gymnasiallehrer nicht standardmäßig erwartet werden.</p> <p>Das ist kein Wissen, das zur üblichen Ausbildung eines Gymnasiallehrers gehört.</p>	<p>... „Sie haben wenig von dem gemacht, was wir eben theoretisch geübt haben. Also so ein Projektverlaufsplan oder Strukturplan oder irgendwie mal so eine, so ein Brainstorming mit Visualisierung oder so“ ...</p> <p>... „Also sie [der externe Partner] hat dann auch bei der einen Gruppe klipp und klar gesagt: "Man sieht, dass ihr euch untereinander nicht grün seid. Ihr solltet an eurer Teamkoordination arbeiten". Und das war schon heftig für die Schüler. Und vielleicht auch deswegen danach so tränenreich, weil sie dann auch mitgekriegt haben, andere Leute sehen das ja auch, dass wir eigentlich kein Team sind.“ ...</p> <p>... „Es gab diese Zweiergruppe der Mädchen, die die, eigentlich die Führungsrolle nehmen sollten, die aber vor allem dann die Dialoge gemacht haben und um sich dann noch welche geschart haben, die mit ihnen die Dialoge die Dialoge gemacht haben. Also das war mehr so das Organisationsteam. Und dann gab es, es gibt jetzt einen für die Musik. Es gibt einen für die Beleuchtung.“ ...</p>

Anhang

Fachspezifisches Science- Seminarfach-Wissen Sc-Sem-	Dieses Wissen kann von einer „normalen“ Lehrkraft der Naturwissenschaften im Gymnasium nicht standardmäßig erwartet werden. Das ist kein Wissen, das zur üblichen Ausbildung eines Lehrers der Naturwissenschaften gehört.	<i>... „Aber ich habe ganz bewusst auch bei Sachen, wo ich sage: "Naja, den Versuch, der klappt sowieso sicher nicht. Das weiß ich, dass der nicht funktioniert." Habe ich auch, habe ich sie trotzdem ausprobieren lassen, um einfach auch - dass die merken, das läuft halt einfach so. Ich laufe halt ab und zu gegen die Wand und dann muss ich halt gucken, wie komme ich damit klar irgendwie?“ ...</i> <i>... „Wir haben halt dann mit, mit einfachen kleinen Experimenten so Showexperimente ein bisschen eingebaut. Um zu präsentieren, dass es eben gar nicht so einfach ist, wenn man sich selber irgendwo aus dem Internet so eine Anleitung holt und dann guckt und es funktioniert nichts. Und überarbeiten muss und verfeinern muss. Und dann auch vom Maßstab manchmal auch einfach runterrechnen.“ ...</i>
---	---	--

Anhang

Übersicht Zweitcodierungen

(zufälliges Lose-Ziehen am 25.5.2015, dabei wurde lediglich getrennt nach P- und W-Seminar gelöst, wobei je 3 P- und zwei W-Seminare gezogen wurden).

	Zweitcodierung Weirauch (Intracoderreliabilität)	Zweitcodierung XY (Intercoderreliabilität)
W-Seminar-Interviews	LF2-W4 LF1-W2	LF2-W1 LF1-W3
P-Seminar-Interviews	LF1u2-P7 LF1-P1 LF1u2-P6	LF1u2-P6 LF1u2-P7 LF1u2-P8

Literatur

- Fischer, H. E., Borowski, A., & Tepner, O. (2012). Professional Knowledge of Science Teachers. In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*: Springer International Handbooks of Education.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken*. Weinheim, Basel: Beltz.

Zusammenfassung

der in den Interviews genannten Anforderungen an das Professionswissen im engeren Sinne im Rahmen der Seminarfächer

Übersicht über CK-Anforderungen

- Klassisches Fachwissen (Gefährdungsbeurteilung, Schulversuche und Lehrplaninhalte)
- Spezielleres Faktenwissen (z. B. Fluoreszenzfarbstoffe in Getränken, Azorubin in Energy-Drinks, Brückenzünder für Gasgemische, HPLC von Vanillin; Analyseverfahren der Chemie: GC, NMR, IR, Gel-Elektrophorese, Extraktionsverfahren, etc.)
- Forschungsprozess: Forschung kann deprimierend sein, auch Negativergebnisse sind Ergebnisse, jeder muss Fragestellung herausarbeiten
- Umgang mit Programmen (Word: Fußnoten, Tiefstellen von Zahlen, Formatvorlagen, PowerPoint, ChemSketch) und digitale Kommunikation (Moodle, Facebook)
- Recherchetechniken, Datenbanken, Bibliotheken und Fachzeitschriften; Beurteilung von Informationen im Netz
- Präsentationstechniken
- Wissen über Berufsbilder und Berufsinformation (Chemiker, Laborant, Ingenieur, AOK bietet Bewerbungstraining)
- Projektmanagement (Bestandteile und Methoden, z. B. Assessmentcenter, Kopfstandmethode, Zeitmanagement; TheoPrax-Methode;

Übersicht über PCK-Anforderungen

- Anleitung Recherchieren für und Schreiben der Arbeit
(Hinweis auf Schülersprechstunde der Uni-Bib für Recherche; erwartet, dass Oberstufenschüler Textarbeit machen kann; Kopien der Literatur muss mit der Seminararbeit zusammen abgegeben werden)
- Anleitung und Koordinierung Präsentation von Ergebnissen und Zwischenergebnissen
(z. B. an Präsentationsabend, Zwischenpräsentation der Seminararbeiten in Referaten)
- Anleitung bei Themenfindung für Seminararbeit, finden einer machbaren Methode, Anleitung bei Durchführung und Auswertung des Experiments (Problem jüngere SuS; L hat Literatur zur Verfügung gestellt; Arbeit im Computerraum; Machbarkeits-Einschätzung Versuche durch L; Leitfaden Anleitung zum naturwissenschaftlichen Arbeiten; Anleitung bei Auswertung experimenteller Ergebnisse – chemisches Rechnen;
- Konzertierung des Ablaufs des Seminars generell
(Einführungsstunde zum Seminar; Organisationstermine im Laufe des Projektes; Einteilung der Arbeiten; Zeitplanung im Seminar ist aufgegangen; zu Beginn jeden Treffens ein kleines "briefing"; Arbeiten außerhalb Seminarzeit müssen protokolliert werden; Hinweise zum Erstellen Portfolio; Projekt sollte nach den Sommerferien liegen, damit stressige letzte Zeit nicht in die Klausuren fällt; Bestimmte Konzepte kann man im nächsten Seminar wieder verwenden)
- Organisation der Laborarbeit im W-Seminar
(Gefährdungsbeurteilung durch SuS feste Labortermine; L musste viel vorbereiten für Experimentieren und Sicherheit sicher stellen; Sus haben Experimente ausgesucht und L hat für Sicherheit gesorgt; Laborzeit in Osterferien)
- Umgang mit der fehlenden praktischen Vorerfahrung der SuS, Sch aus Wirtschaftszweig fast ohne Vorwissen
(v. a. durch Experimentieren, Experimentieren, Experimentieren mit den Schülern; anders als im U wo man Stoff durchkriegen muss; Nicht alle SuS müssen am Ende des Seminars den gleichen Stoff können; Experimente verwerfen, weil zu schwer für SuS; Vorwissen der SuS diffus; Experimentieranleitungen aus Internet kritisch sehen;

Anhang

- Gestaltung der Input-Phase und in Bezug auf bestimmte Stundeneinheiten (Arbeitsteiliges Vorgehen; Mindmap; Inputphase zum Teil frontal; keine Leistungserhebung da sehr unterschiedliches Vorwissen; z. B. Projektmanagement mit TheoPrax-Beispielen; Projektstrukturplan, Milestones setzen, mit SuS geübt; Sch haben keinen Projektverlaufsplan gemacht; Methodeninputs)
- Ablauf Projekt
(Schüler haben von Anfang an alles im Projekt selbst entschieden; Verlagerung der Besprechungen für das Projekt in die Kneipe; Schüler merken beim externen Partner, dass sie Projekt noch nicht beherrschen; Sponsorenbriefe, Technik; L hat vorgeschrieben, dass Gruppen Sprecher wählt;
- Umgang mit Unzuverlässigkeit und fehlender Motivation der SuS Schüler; Wege des Leistung-Einforderns

Übersicht über PK-Anforderungen

- Methoden
(z. B. Arbeit in Kleingruppen, U-Gespräch mit praktischen Übungen, Rechercheprotokoll, MindMap, Feedback-Fragebögen, Referate; keine Abfragen und kein Stoff-Durchziehen, sondern offene Methoden; keine Klausuren; fast nur individuelles, persönliches Gespräch – kein Unterrichtsgespräch)
- Motivation
(z. B. Umstand, dass nicht alles gleich klappt und dass Chemie doch anspruchsvoll; Schüler arbeiten für sich und nicht für die Lehrkraft - dass die Motivation aus den Schülern kam war für das Projekt ausschlaggebend; mangelhafte Motivation der Schüler (häufig!) und Arbeiten *auf den letzten Drücker* vs. übermotivierte Schüler; Schüler nutzen Hintertürchen; Seminar zählt so wenig, dass daraus keine Motivation; einige Arbeiten waren *für die Katz*; eine Gruppe hat noch freiwillig Weiteres organisiert; Schüler und Lehrkraft haben viel Spaß gehabt im Labor; das Seminar ist ein *lästiger Zusatz* zur sonstigen Oberstufe; etwas zu können, was andere nicht können, ist motivierend; Stärke des Seminars ist, dass man mit SuS etwas machen kann, was die interessiert und motiviert; was ihnen Spaß macht ist das praktische Arbeiten)
- Wecken von Interesse
(Schüler wollen Chemie studieren aufgrund des Seminars; es kommen die, die sich für Chemie interessieren; ein tieferes Verständnis zu schaffen wie im LK ist im Seminar nicht leistbar; wenn man sich selbst einbringen kann, weckt das ein anderes Interesse; keine Frustration durch ständige Leistungserhebungen – damit können auch schwächere Schüler gewonnen werden; Chemie war eigentlich Zweitwahl der Schüler – jetzt hat das Seminar ihr Interesse geweckt)
- Heterogenität und Vorwissen der SuS
(die Einen wissen viel mehr als die Anderen; interessant zu sehen, wieviel Berufs-Praktika die SuS schon gemacht haben; manche Schüler hinterfragen die Dinge wirklich und haben Ahnung und bei anderen war nichts da; Schüler ohne Vorerfahrung und ohne Belegung eines Chemie-Kurses und solche aus dem naturwissenschaftlichen Zweig und Jugend forscht – und für alle soll man Themen finden, die sie bearbeiten können; manche Schüler hatten nie Chemie-Übung; die sind total blank; wer mit Chemie weniger am Hut hat, soll sich um die Dramaturgie kümmern; man muss nicht mit allen das gleiche Ziel erreichen;

Anhang

- Leistungserhebung und Noten
(Bei der Benotung bin ich mir mittlerweile sicher; habe als Punkt in meiner Bewertung „Zuverlässigkeit und erledigte Aufgaben“; mehr oder weniger „Engagement-Noten“ die Schüler haben im Projekt viel geleistet; bei nicht erbringen von Leistung durch ein Gespräch eingegriffen oder durch schlechte Noten dokumentiert; Zusammenarbeit und Mitarbeit ist mit eingeflossen; individuelle Zielvereinbarung dokumentiert; Referate; Exposé benotet; Versuchsbeschreibungen oder Gliederungen abgeben; Leistungserhebungen und Kurzarbeiten; schriftliche Beurteilung; Schüler schätzen ihre Leistung innerhalb der Gruppe ein, dann individuelles Leistungsgespräch; Portfolio)
- Disziplin und Einfordern von Leistung
(„die Gruppe habe ich mir dann einmal gegriffen“; „Ich habe, glaube ich, mehr als fünf Mal gesagt, sie sollen das bitte machen“; „Was ich GANZ schlimm finde im P-Seminar, mit Notendruck arbeiten“; „Das hätte ich nie gedacht, dass ich die irgendwie mal alleine lassen kann [beim Experimentieren]“; „Da habe ich halt - dann hat er es mir eine Woche später abgegeben, dann hat er halt null Punkte von vorne herein gekriegt“; „Dann habe ich sie noch mal kurz nach Pfingsten einberufen und ihnen eine Standpauke gehalten“; „habe ihnen klar gemacht, dass ich ihnen da jetzt nicht weiterhelfen kann und dass die Besprechung nach drei Minuten enden muss“, wenn sie nichts vorbereitet haben; „Und da waren die alle Top vorbereitet.“)
- Gruppenprozesse, Gemeinschaftsgefühl und feedback-Kommunikation
(„Konflikte zwischen den Schülern habe ich nicht beobachten können“; „Das ist ganz anders wie ein Leistungskurs. Weil das [W-]Seminar selbst kein Kurs ist, der zusammen hält“; „es kam natürlich zu Reibereien (...) Da haben also welche gesagt (...) die tun immer nichts und so und geben ihr Zeug nicht rechtzeitig ab“; „Die haben natürlich einen Sprecher gewählt, (...) der hat natürlich keinerlei (...) Handhabe“; „Wobei alle gemeint [haben], es war eine tolle Erfahrung im Team zu arbeiten“; „manche sehr nette Schüler-Lehrer-Gespräche, die sich ergeben, wenn die halt am Experimentieren und du halt neben dran sitzt und dann halt ein wenig mit ratscht“; „dann wollten zwei dasselbe, dann hat sich dann der eine um entschieden“)
- Reife und Alter der Schüler
(„Aber ich glaube, diese Mädelsgruppe hätte das ohne eine Anleitung einfach nicht geschafft, gut miteinander zu arbeiten. Weil sie vielleicht auch noch zu jung sind.“; „Und wir haben lauter Schüler, die sind sechzehn und siebzehn und haben kein Auto“; „Das Problem ist halt, die Kinder sind keine 18. Das ist ein riesengroßes Problem“; „Und da habe ich auch gemerkt, das haut nicht hin. Die sind zu jung, die machen uns hier [im Labor] alles durcheinander“; „Einige haben durch die Verantwortung, die sie bekommen haben, haben sie ganz gewaltigen Schuss in Richtung Reife getan“; „Okay, ich muss dem Alter auch

Anhang

gerecht werden. Ich kann nicht von einem 17-jährigen das verlangen, was ich von einem 19-jährigen verlangt habe. Also es ist schon ein Unterschied“; „Aber man merkt, dass die fast zwei Jahre älter waren. Also die, das sind Kinder, die muss man an der Hand nehmen.“)

- Was die Schüler aus dem Seminar mitgenommen haben
(Die Schüler haben gelernt ... „Sich mit Literatur zu beschäftigen“; „wie man mit Kleinen umgeht“; „dass da einfach wahnsinnig viel Arbeit drin steckt“; „Teamarbeit und Disziplin, beides“; „Wahrscheinlich haben sie auch etwas über Präsentationen mitbekommen“; „ dass man nur, wenn man zusammen hilft, dann auch irgendwas gemeinsam auch auf die Beine stellen kann“; „Also chemisches Wissen irgendwie habe die da jetzt nicht mitgenommen“; „Also fachlich nicht viel, denke ich (lacht)“; „wirklich auch mal Sachen verwerfen“; „wie eine wissenschaftliche Arbeit aufgebaut ist“; „dass es einfach seine Zeit dauert“; „Und sie lernen auch ihre Schwächen kennen)

Anhang

Schüler-Handout
Lehr-Lern-Labor „Analyseverfahren der Chemie“

Ungewöhnliche Ionennachweise

Typ:

Klassische Analysemethode /
Nasschemische Analysemethode

Was kann man mit dieser Methode herausfinden?

Qualitativer Nachweis von Kationen

Funktionsprinzip:

Wie hat man eigentlich vor Erfindung der Spektroskopie herausgefunden, was im Boden oder in Nahrungsmitteln für Elemente enthalten sind?



Quelle: (Lehle, 2008)

Für viele Elemente gibt es spezifische Nachweisreaktionen. Die zwei wichtigsten Typen solcher Reaktionen sind:

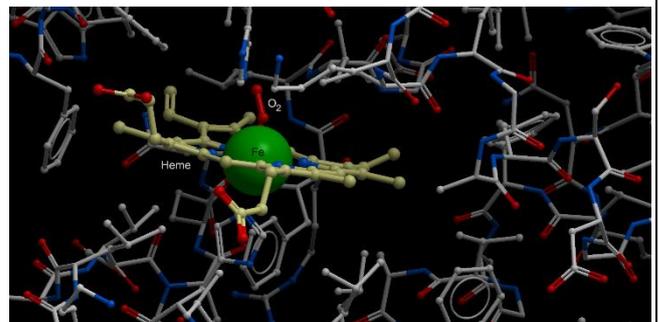
Die Bildung eines Niederschlags unter bestimmten Bedingungen (Bsp: Silberkationen und Chlorid-Anionen bilden weißes Silberchlorid) oder die Bildung eines farbigen Komplexes

Komplexverbindungen

Viele Metalle der Nebengruppen bilden mit kleinen Molekülen so genannte Komplexverbindungen aus. Dabei wird ein zentrales Ion oder Atom von mehreren dieser Moleküle, den so genannten Liganden umgeben. Die Liganden sind Moleküle mit freien Elektronenpaaren. Diese treten mit freien Orbitalen des Zentralions in Wechselwirkung und bilden eine kovalente Bindung aus. Kovalente Bindungen, bei denen das bindende Elektronenpaar „ganz“ von einem Reaktionspartner stammt, nennt man auch dative Bindungen.

Beispiel aus dem Alltag

Ohne diesen Komplex ginge gar nichts: Häm ist ein Molekül, in dem ein zentrales Eisen-II-Kation von einem organischen Ringsystem umgeben ist. Dabei ist das Eisen über dative Bindungen an Stickstoffe im Ringsystem gebunden. Jeweils vier Häm-Komplexe sind in vier Eiweißketten eingelagert, die insgesamt das Hämoglobin bilden unseren roten Blutfarbstoff. Damit unser Körper Hämoglobin bilden kann, müssen wir demnach Eisen mit der Nahrung aufnehmen.



Quelle: (Ayacop, 2010)

Spinat enthält nachweislich NICHT besonders viel Eisen – Petersilie oder Leber sind deutlich eisenhaltiger. Dafür kommt in den grünen Spinatblättern ein anderer Komplex besonders häufig vor: Das Chlorophyll. Der grüne Blattfarbstoff hat als Zentralion ein Magnesiumkation, das von organischen Liganden umgeben ist.

Aufgabe

a) Identifizieren Sie, welches Kation in Ihrem Salz enthalten ist.

Folgende Kationen können enthalten sein:

Eisen, Mangan, Aluminium, Kupfer, Titan, Natrium (gelbe Flammenfärbung)

b) Finden Sie heraus, welches Reagenzglas Aluminium enthält!

Durchführung

a) Phosphorsalzperle herstellen, indem man das heiße Magnesiastäbchen in Natriumammoniumhydrogenphosphat wälzt und das Salz schmilzt. Dann in zu prüfendes Salz halten und in oxidierender Flamme reagieren lassen, bis Farbe sichtbar wird.

b) In beide RGRG einige Tropfen Morinlösung geben. Beide Lösungen werden unter UV-Licht betrachtet. Fluoreszenz zeigt Aluminiumionen an.

Thermometrische Titration

Typ:

Klassische Analyseverfahren /
Nasschemische Analyseverfahren

Was kann man mit dieser Methode herausfinden?

Quantitative Analyse; Gehalt an einer bestimmten Substanz wird bestimmt

Funktionsprinzip:

Säuren enthalten Oxoniumionen H_3O^+ . In basischen Lösungen sind Hydroxidionen OH^- enthalten. Der pH-Wert ist ein Maß dafür, wie viele Oxoniumionen in einer wässrigen Lösung vorliegen.

Lässt man nun eine Säure mit einer Base reagieren, so kommt es zur Neutralisation: Oxoniumionen und Hydroxidionen reagieren miteinander zu Wasser:



Die Neutralisationsreaktion geht auch mit einer Änderung des pH-Wertes einher, denn die Menge der Oxoniumionen ändert sich ja. Anzeigen kann man dies mit einem Säure-Base-Indikator, der je nach pH-Wert die Farbe ändert.

Will man herausfinden, wie viel Säure bzw. wie viele Oxoniumionen in einer Lösung enthalten sind, so kann man titrieren:

Man tropft so lange Base einer bekannten Konzentration zur Säure, bis die Neutralisation abgeschlossen ist. Aus der verbrauchten Menge an Base kann man ausrechnen, wie viel Säure vorgelegen hat.

Neutralisationsreaktionen sind in der Regel exotherm, es wird also Energie als Wärme freigesetzt.

Beispiel aus dem Alltag

Wie viel Säure ein Orangensaft enthält, ist gar nicht so leicht festzustellen. Eine normale Titration mit einem Indikator funktioniert schlecht, da der Orangensaft selbst farbig ist. Dennoch wünschen viele Kunden säurearme Säfte, weshalb es wichtig ist, den Säuregehalt zu kennen.



Statt eines Säure-Base-Indikators nutzt man daher den Umstand, dass bei der Neutralisation Wärme frei wird. Durch Messen der Wärme kann man bestimmen, wann alle Säure umgesetzt ist.

Aufgabe

Stellen Sie den Säuregehalt durch Thermometrie fest!

Sicherheitshinweis

Säuren und Basen sind ätzend!!
Silbernitrat ist ätzend und verursacht dunkle Flecken auf der Haut!

Durchführung

Man führt eine Säure-Base-Titration mit Natronlauge und Salzsäure durch. Mit einem Temperatursfühler, der in die Lösung taucht, registriert man die Wärme im Reaktionsgefäß. Der Temperatursfühler ist mit einem Computer verbunden, der die Ergebnisse automatisch registriert. Das Reaktionsgefäß steht auf einer Waage. Auch diese ist mit dem Rechner verbunden, der aus dem zunehmenden Gewicht des Becherglases automatisch errechnet, wie viel Titrierlösung zugegeben wurde. Am Maximum der Kurve ist die Neutralisation abgeschlossen.

Dünnschichtchromatografie

Typ:
Trennmethode

Was kann man mit dieser Methode herausfinden?
Trennung von Inhaltsstoffen, Identifikation von Substanzen

Funktionsprinzip:
Das Laufmittel (Lösemittel) wird durch Kapillarkräfte durch das weiße Aluminiumoxid auf der DC-Platte gesogen und wandert nach oben. Dabei nimmt es Stoffe, die in ihm gelöst sind, mit. Die verschiedenen gelösten Stoffe wandern also mit dem Laufmittel mit durch das stationäre Aluminiumoxid. Dabei treten sie unterschiedlich stark in Wechselwirkung mit der stationären Phase. Je stärker diese Wechselwirkung ist, desto mehr wird die Substanz relativ zum Laufmittel zurückgehalten – sie wird adsorbiert.

Trägt man ein Gemisch unten auf der DC-Platte auf und stellt, die Platte ins Laufmittel, so wandern die verschiedenen Bestandteile des Gemisches verschieden weit mit dem Laufmittel mit. Zur Identifikation lässt man bekannte Vergleichssubstanzen mitlaufen. Stoffe, die auf der Laufmittelstrecke gleich weit gekommen sind, sind mit großer Wahrscheinlichkeit identisch.



Quelle: Dr. Gerd Vogg, Universität Würzburg

Beispiel aus dem Alltag

Safran ist eines der teuersten Gewürze der Welt. Es wird vor allem zum Einfärben von Backprodukten genutzt:

...*“Safran macht den Kuchen gel“*...

Da Safran aus den Staubbeutel eines Krokus besteht, die einzeln gezupft werden müssen, gibt es immer wieder Fälschungsversuche. Um festzustellen, ob es sich um Pulver aus echtem Safran oder um eine Fälschung mit anderen gelben Farbstoffen handelt, muss man die Farbe herauslösen und dann durch Chromatografie auftrennen.

Aufgabe
Identifizieren Sie die Farbstoffe, die in einem M&M® Ihrer Wahl enthalten sind. Führen Sie hierzu eine Dünnschichtchromatografie mit einer Aluminiumoxid-Platte und Referenzsubstanzen durch.

Sicherheitshinweise
Die Laufmittel sind
- brennbar
- leicht flüchtig
- ätzend

Durchführung

Zunächst werden M&Ms einer Farbe in Wasser gegeben, um die Farbe abzulösen. Auf den unteren Rand einer DC-Platte werden im Abstand von ca. 1 cm mithilfe einer Glaskapillare etwas Lösung und verschiedene Vergleichsfarbstoffe aufgetragen. Die Platte wird in eine DC-Kammer mit Laufmittel gegeben.

Modellversuch zu den Vorgängen bei einer Säulenchromatografie

Typ:
Trennmethode

Was kann man mit dieser Methode herausfinden?
Trennung von Gemischen, Identifikation von Substanzen durch spezifische Retentionszeiten.

Funktionsprinzip:

Dieses Gedankenexperiment soll zeigen, wie die wiederholte Einstellung unterschiedlicher Verteilungsgleichgewichte für zwei verschiedene Substanzen schließlich zur Trennung führen kann.

Die verschiedenfarbigen Glas-Nuggets stellen die Moleküle der zwei verschiedenen Substanzen dar, aus denen das Gemisch besteht.



Quelle: Thomas Amend, Universität Würzburg

Modell in der Natur

Die Strömung eines Flusses trägt verschieden große und verschieden schwere Steine verschieden stark mit sich. Auf diese Weise sammeln sich an reißenderen Stellen größere Steine an, während kleinere Steine sich in ruhigeren Zonen absetzen.

Aufgabe

Vollziehen Sie die einzelnen Verteilungsschritte in der Säule nach und verstehen Sie, wie es letztlich zur Trennung des Gemisches kommt!

Durchführung

Es gelten die folgenden Regeln:

- Die *blauen* Nuggets stellen Moleküle dar, die sich besser in der *mobilen* Phase lösen als in der stationären Phase. Es stellt sich stets ein Gleichgewichtsverhältnis von $\frac{3}{4} B_{(mob)}$ zu $\frac{1}{4} B_{(stat)}$ ein.
- die *roten* Nuggets stellen Moleküle dar, die sich besser in der *stationären* Phase lösen. Bei ihnen beträgt das Verteilungsgleichgewicht stets $\frac{3}{4} R_{(stat)}$ zu $\frac{1}{4} R_{(mob)}$

1. Schritt: Der blaue Streifen, der die mobile Phase symbolisiert, wird so über den Streifen für die stationäre Phase gelegt, dass der vorderste Abschnitt der mobilen Phase über der Nr. 1 der stationären Phase zu liegen kommt (siehe Foto nächste Seite)

2. Schritt: Ermitteln der 1. Gleichgewichtsverteilung

Die Nuggets werden nun entsprechend den Verhältnissen zwischen mobiler und stationärer Phase verteilt, also jeweils $\frac{3}{4}$ zu $\frac{1}{4}$ in stationärer und mobiler Phase.

3. Schritt: Die mobile Phase wandert einen Abschnitt weiter und nimmt dabei die in ihr gelösten Moleküle (Nuggets) mit.

4. Schritt: Ermitteln der 2. Gleichgewichtsverteilung

Die Nuggets jedes Abschnitts (aus mobiler plus stationärer Phase) werden zusammengefasst und neu verteilt – wieder entsprechend dem Verhältnis $\frac{1}{4}$ zu $\frac{3}{4}$. Vorsicht! Jeden Abschnitt einzeln bearbeiten!

5. Schritt: Mobile Phase wandert eins weiter, wobei die in der mobilen Phase gelösten Nuggets mit wandern.

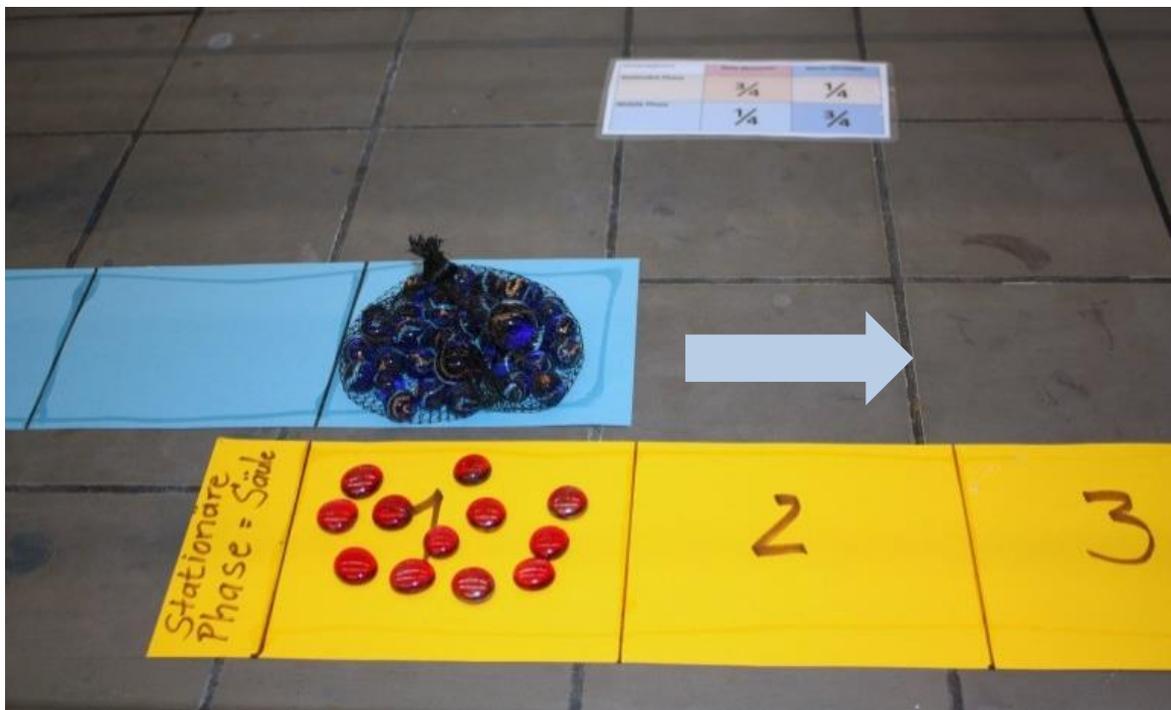
6. Schritt: Ermitteln der 3. Gleichgewichtsverteilung

Wieder wird für jeden Abschnitt einzeln eine Neuverteilung aller Nuggets dieses Abschnittes vorgenommen.

Etc.

Ende:

Beobachten Sie, wie die roten und die blauen Nuggets sich nach und nach zueinander in der Säule verteilen! Berechnen Sie für jeden Abschnitt der Säule, wie viele rote und wie viele blaue Murmeln vorliegen!



Gaschromatographie – Trennung eines Gemisches

Typ:
Trennmethode

Was kann man mit dieser Methode herausfinden?

Trennen eines Gemisches, Identifikation von Substanzen



Quelle: (Kamalsell, 2006)

Beispiel aus dem Alltag

Hochleistungsmotoren wie sie in der Formel 1 eingesetzt werden, brauchen sehr reine und genau zusammen gesetzte Treibstoffe. Noch bis Ende des Jahres 1957 war die Mixtur alleine Sache der Chemiker.

1992 traten neue Vorschriften in Kraft. Neben Stickstoff und Sauerstoff durfte der Kraftstoff nur noch Kohlenwasserstoffe enthalten. Alkohol, Stickstoffverbindungen und andere "PS-freundliche" Additive waren verboten. Der Umwelt zuliebe war ab sofort bleifreies Benzin verbindlich vorgeschrieben.

Seit 1995 muss der jeweils verwendete Kraftstoff in seiner Zusammensetzung mit einer Probe (chemischer Fingerabdruck) identisch sein, die zuvor bei beim Motorsportweltverband FIA zur Freigabe hinterlegt wurde.

In einem mobilen Labor, das in einem Laster von Rennen zu Rennen mitgeführt wird, können die FIA-Kommissare überprüfen, ob die Teams mit legalem Sprit unterwegs sind. Theoretisch könnten die Motoren mit speziellem Sprit deutliche Leistungsexplosionen schaffen, was ausgeschlossen werden muss. Aus diesem Grund werden in unregelmäßigen Abständen Proben entnommen und mithilfe der Gaschromatographie und Massenspektrometrie auf die Konzentration von Schwefel, Benzol und anderen Stoffen kontrolliert.

Funktionsprinzip:

Durch Erhitzen werden die Flüssigkeiten des Gemisches verdampft.

Sie werden mit der mobilen Gasphase (Wasserstoff) mitgezogen. Dabei kommt es zu Wechselwirkungen zwischen den Stoffen in der mobilen und der stationären Phase (Säule).

Der Stoff, bei dem am meisten Wechselwirkungen auftreten, braucht am längsten, um durch die Säule bis zur Flamme zu fließen.

Da es sich bei beiden Stoffen um brennbare Substanzen handelt, die mit verschiedenfarbiger Flamme verbrennen, kann die Wasserstoffflamme am Ende der Säule als Detektor dienen.

Aufgabe

Identifizieren Sie die Anzahl der in einem Kohlenwasserstoff-Gemisch enthaltenen Komponenten und notieren Sie die jeweilige Retentionszeit. Geben Sie eine Vermutung darüber ab, welches Signal zu welcher Substanz gehört und begründen Sie Ihre Antwort!

Sicherheitshinweise

Wasserstoff ist explosiv mit Sauerstoff!!!

Pentan – leicht flüchtig, brennbar
Borsäureethylester – brennbar

Photometrie – Bestimmung der Konzentration

Typ:

Quantitative spektroskopische Methode

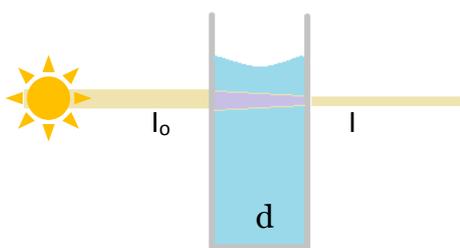
Was kann man mit dieser Methode herausfinden?

Bestimmung der Konzentration eines Stoffes

Funktionsprinzip:

Teilchen absorbieren Licht. Genauer: Verschiedene chemische Verbindungen absorbieren verschiedene, für sie charakteristische Wellenlängen des Lichts. Sind diese bekannt, so kann man eine flüssige Probe, die einen bestimmten Stoff enthält, mit genau dieser Wellenlänge an Licht bestrahlen, die der Stoff absorbiert.

Je mehr der Teilchen in der Lösung nun enthalten sind, umso größer ist der Anteil an Licht dieser bestimmten Wellenlänge, der geschluckt wird.



Mit Hilfe einer Eichgerade kann man dann ablesen, welche Konzentration dieses bestimmten Stoffes in der Lösung enthalten ist. Eine Eichgerade erhält man, indem man Lösungen bekannter Konzentration eines Stoffes herstellt. Diese vermisst man und notiert, welche Absorption bei dieser Konzentration auftritt. Trägt man die Messwerte in ein Koordinatensystem ein, so erhält man eine Gerade, an der man nun die Konzentrationen zu allen beliebigen gemessenen Absorptionen ablesen kann.

Aufgabe

Stellen Sie fest, wie hoch der Gehalt an Cu^{2+} -Ionen in der Probe ist! Erstellen Sie hierfür eine Eichgerade mit Kupfersulfat-Lösungen bekannter Konzentration.

Beispiel aus dem Alltag

Ein wichtiger Teil der heutigen Labor-Medizin ist die Bestimmung von Enzymen im Blut oder im Serum. Wenn Zellen geschädigt werden, dann werden ihre Zellmembranen löchrig und durchlässig. Verschiedene Stoffe treten dann aus den Zellen aus und gelangen ins Blut – zum Beispiel Enzyme. Da bestimmte Enzyme in bestimmten Organen vorkommen, zeigt das Auftreten oder die Vermehrung eines Enzyms im Blut an, dass ein bestimmtes Organ geschädigt ist.



Quelle: (Chadwick, 2015)

Die Konzentration der Enzyme im Blut kann man nur schwer direkt bestimmen. Enzyme sind aber Biokatalysatoren, die darauf spezialisiert sind, eine ganz spezifische Reaktion zu katalysieren. Indem man die Konzentration des entstehenden Produktes misst, kann man indirekt bestimmen, wie viel des Enzyms vorliegt. Für solche Messungen setzt man in der Regel die Photometrie ein.

Eine weitere wichtige Anwendung der Photometrie ist die Bestimmung von potenziellen Schadstoffen wie Nitrit oder Phosphat in Gewässern oder Lebensmitteln.

UV/VIS-Spektroskopie

Typ:
Strukturanalyse

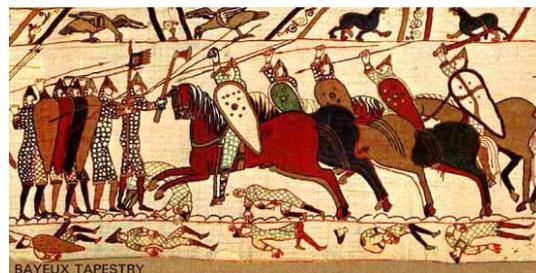
Was kann man mit dieser Methode herausfinden? Informationen über die Bindungsverhältnisse im Molekül

Funktionsprinzip:
Das sichtbare Licht ist eine Mischung von Strahlungen unterschiedlicher Wellenlänge. Demonstrieren kann man das mit Hilfe eines Prismas, das die verschiedenen Wellenlängen unterschiedlich bricht, sodass sie sichtbar werden wie bei einem Regenbogen.

Organische Substanzen, deren Moleküle Doppelbindungen besitzen, oder Metall-Komplexverbindungen können mit sichtbarem Licht in Wechselwirkung treten. Dabei absorbieren sie nur einen ganz bestimmten Teil des Spektrums. Die anderen Farben reflektieren sie, wodurch wir solche Verbindungen als farbige Stoffe sehen.

Das vom Molekül absorbierte Licht führt dazu, dass Elektronen des Moleküls angeregt werden und in ein höheres, also energiereicheres Energieniveau springen. Da dieser Zustand instabil ist, kehrt das Elektron in der Regel sofort wieder in den Grundzustand zurück.

nm	absorbierte Farbe	erkannte Komplementärfarbe
400-435	violett	gelbgrün
435-480	blau	gelb
480-490	grünblau	orange
490-500	blaugrün	rot
500-560	grün	purpur
560-580	gelbgrün	violett
580-595	gelb	blau
595-605	orange	grünblau
605-770	rot	blaugrün



Teppich von Bayeux, Ausschnitt
Quelle: (Koehl, 2004)

Bei der UV-Spektroskopie kann man messen, welche Anteile des Lichtes absorbiert werden. Dies lässt Schlüsse auf die Bindungsverhältnisse im Molekül zu.

Beispiel aus dem Alltag

Will man bei empfindlichen und wertvollen Kunstgegenständen wie zum Beispiel alten Stoffen die Farben untersuchen, so kann ein transportables UV/VIS-Spektrometer zum Einsatz kommen. Auf diese Weise muss der zerbrechliche Stoff nicht bewegt werden und man kann dennoch detaillierte Informationen über die Farbpigmente, die der Maler vor vielen Jahrhunderten verwendet hat, gewinnen.

Aufgabe

Sagen Sie für eine farbige Lösung voraus, in welchem Bereich eine Absorptionsbande zu erwarten ist und überprüfen Sie Ihre Voraussage, indem Sie ein Spektrum fahren.

IR-Spektroskopie

Typ:
Strukturanalyse

Was kann man mit dieser Methode herausfinden?
Informationen über die Bauteile und funktionellen Gruppen eines Moleküls

Funktionsprinzip

Infrarotes Licht können wir als Wärmestrahlung wahrnehmen. Trifft solches Licht auf Moleküle, so regt es die einzelnen Atome im Molekül zu Schwingungen und Rotationsbewegungen an. Dabei kann das Molekül aber nur ganz bestimmte „Energieportionen“ aufnehmen, also ganz bestimmte Wellenlängen absorbieren. Diese Wellenlängen sind typisch für bestimmte Bausteine und funktionelle Gruppen im Molekül.

Einfache C-H-Bindungen zum Beispiel auf Licht von ca. 2900 cm^{-1} (in der IR-Spektroskopie wird die Wellenzahl angegeben, nicht die Wellenlänge. Sie hat die Einheit cm^{-1}). Mit einem IR-Spektrometer kann man prinzipiell das gesamte IR-Spektrum abfahren und damit die Probe durchleuchten. Mit einem Detektor wird dann gemessen, welche Wellenzahlen absorbiert wurden. Das resultierende Spektrum lässt dann Schlüsse darüber zu, wie das Molekül aufgebaut ist.

Letztlich ermöglicht der Abgleich eines Spektrums einer unbekannt Substanz mit einem Spektrenkatalog von Referenzsubstanzen die Identifizierung der unbekannt Substanz.

Aufgabe

Identifizieren Sie eine Substanz, indem Sie ein IR-Spektrum fahren.
Mögliche Stoffe sind:
Hexan, Pentanol, Pentanal, Benzoesäure

Beispiel aus dem Alltag

Wassergehalt oder Restfeuchte bestimmen in einer großen Zahl von Produkten die Qualität und Funktionsfähigkeit. Die Feuchte in Erntegut wie Weizen oder Heu ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal, Die Qualität von Knabberware wird unter anderem vom Restwassergehalt bestimmt.



Die Weiterverarbeitung verschiedenster Pulver hängt erheblich von der Restfeuchte ab. Deshalb wird sowohl im Agrarbereich als auch in der Industrie nach Möglichkeiten einer zerstörungsfreien und schnellen Bestimmung von Wassergehalten gesucht. Die IR – Spektroskopie erfüllt diese Anforderungen.
Auch zur Abgasmessung kann IR-Spektroskopie eingesetzt werden.

Durchführung

Der Messkopf und Messtisch werden gereinigt. Durch entsprechende Bedienung des Computers wird zunächst ein Referenzspektrum gefahren. Danach wird die Substanz aufgetragen und der Schwenkarm umgelegt. Der Stempel wird auf die Probe gepresst. Das Spektrum wird gefahren und ausgedruckt.

Die Identifikation des Stofftyps erfolgt durch Auslesen der wichtigsten Banden und Identifikation der Banden in den entsprechenden Tabellen.

Wenn Sie sich auf eine Substanz festgelegt haben, können Sie Ihr Ergebnis bei Ihrer Lehrkraft überprüfen.

Massenspektrometrie

Typ:
Strukturanalyse

Was kann man mit dieser Methode herausfinden?
Informationen über die Masse und den Aufbau eines Moleküls

Funktionsprinzip

Die Massenspektrometrie ist eine Methode zur Bestimmung von Molekülmassen von anorganischen oder organischen Molekülen.

Zunächst wird die Substanz im Vakuum in den gasförmigen Zustand gebracht. In der so genannten Ionenquelle werden die gasförmigen Moleküle ionisiert – meistens, indem man Elektronen auf die Moleküle schießt und dadurch Elektronen aus dem Molekül herausschlägt. Es entstehen Molekül-Kationen. Größere Moleküle können dabei auch in Teile zerbrechen, die wiederum positiv geladen sind.

Im Massenanalysator werden die Ionen hinsichtlich ihres Masse/Ladungszahl-Verhältnisses aufgetrennt. Das geschieht dadurch, dass sie beschleunigt und dann durch ein Magnetfeld geschickt werden. Der Detektor misst schließlich die Intensität mit der die jeweiligen Bruchstücke auftreten. Als Ergebnis erhält man ein Massespektrum, das zeigt, welche Ionen in welchen relativen Mengen gebildet worden sind. Dieses Spektrum lässt Rückschlüsse auf den Aufbau des Moleküls zu.

Beispiel aus dem Alltag

Klimaforscher nehmen Bohrkern aus Sedimenten und Gletschereis und untersuchen diese mit Hilfe der Massenspektrometrie.



Quelle: (Augustin, 2006)

Zum Beispiel verdampft Wasser, das das Isotop ^{16}O enthält, leichter als solches, das das Isotop ^{18}O enthält.

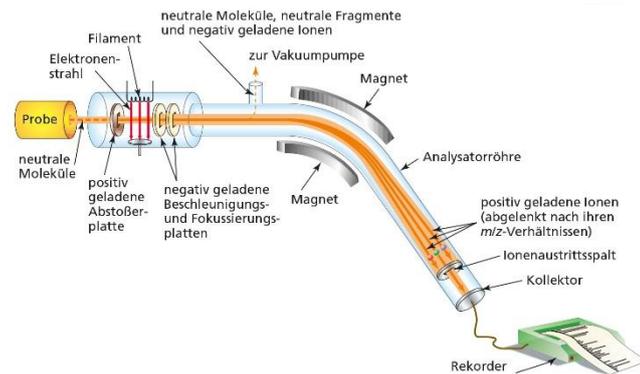
Eiszeiten, bei denen große Mengen des Wassers als Eisschild dem Wasserkreislauf entzogen werden, verschieben die Häufigkeit dieser Isotope im Meer und damit auch im neu fallenden Schnee. Aus der Differenz der beiden Sauerstoff-Isotope kann auf die Menge des Inlandeises zu der Zeit geschlossen werden, als die Probe gebildet wurde.

Aufgabe

Trennen Sie mithilfe des Massenspektrometer-Modells die gleich großen Kugeln nach ihrer Masse.

Durchführung

Ausprobieren!
Maximal 12 Volt!!!!!!!!!!!!



Quelle: (Bruice, 2011)

NMR-Spektroskopie

Typ:
Strukturanalyse

Was kann man mit dieser Methode herausfinden?
Informationen über die Bindungsverhältnisse im Molekül, Strukturaufklärung und quantitative Analysen

Funktionsprinzip

Die Kernspinresonanzspektroskopie (engl. NMR) erlaubt die Untersuchung der elektronischen Umgebung einzelner Atome und ihrer Wechselwirkung mit ihren Nachbaratomen. Sie beruht auf magnetischen Eigenschaften von Atomkernen.

Viele Atomkerne haben einen Eigendrehimpuls, auch Kernspin genannt. Dieser verleiht dem Kern besondere magnetische Eigenschaften. Am häufigsten werden per NMR die Kerne des ^1H vermessen, also das eine Proton des gängigsten Wasserstoffisotops. Da es sich in allen Kohlenwasserstoffen findet, erschließen sich so alle organischen Verbindungen.

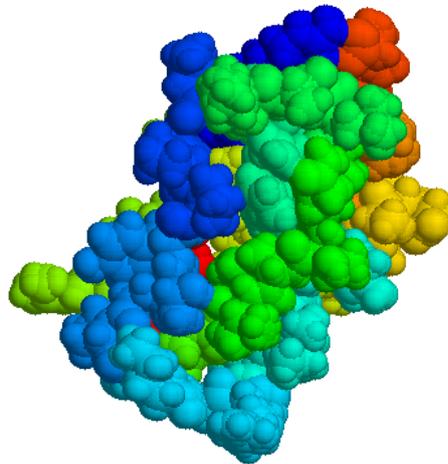
Das eine Proton des Wasserstoffes hat einen Spin. Dieser Spin lässt sich als ein Vektor durch das kugelförmige Proton visualisieren. Damit hat das Proton einen Nordpol und einen Südpol und gleicht somit einem Stabmagneten.

Legt man ein starkes äußeres Magnetfeld an, so richten sich die Atomkerne im Magnetfeld aus, und zwar parallel und antiparallel zum Feld. Etwas mehr Kerne „wählen“ dabei die energetisch günstigere parallele Ausrichtung.

Die Ausrichtung ist allerdings nicht ganz exakt, denn die Kerne präzidieren, also schwingen um die Feldlinien des Magnetfeldes.

Durch einen Störimpuls kann man die Spins dazu bringen, umzuklappen und den energetisch ungünstigeren antiparallelen Zustand einzunehmen. Die Rückkehr der Spins in den Grundzustand kann man messen. Je nach Umgebung der Kerne ist sie schneller oder langsamer. Dies lässt Rückschlüsse auf den Molekülbau und die Bindungsverhältnisse zu.

Beispiel aus dem Alltag



Quelle: (Wolff, 2006)

Mit NMR-Spektroskopie kann auch die Struktur großer Biomoleküle aufgeklärt werden, die mit anderen Methoden nicht zugänglich sind.

Da die meisten Lebewesen vor allem aus Wasser und Kohlenwasserstoffen bestehen, eignet sich die ^1H -NMR-Spektroskopie sehr gut als bildgebendes Diagnoseverfahren.

In der Medizin findet sie in der Magnetresonanztomographie (MRT) Anwendung.



Literatur

- Augustin, L. (2006). Eisbohrkern: Wikimedia Commons.
- Ayacop. (2010). ball and stick model of heme pocket of hemoglobin B chain.
- Bruice, P. Y. (2011). *Organische Chemie*. München: Pearson.
- Chadwick, A. (2015). Blood Test.
- Kamalsell. (2006). Pit work of McLaren at the 2006 Malaysian Grand Prix: CC BY 2.0 Wikimedia Commons.
- Koehl, D. (2004). Teppich von Bayeux.
- Lehle, E. (2008). Bodenproben.
- Wolff, J. F. D. (2006). Structural formula of Aprotinin, an antifibrinolytic pharmaceutical: Wikimedia Commons.

Danksagung

Besonders danken möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Ekkehard Geidel, der es nicht nur wagte, einer an Jahren schon fortgeschrittenen Kandidatin eine Promotion zuzutrauen, sondern diese auch mit steter, unerschütterlicher hanseatischer Gelassenheit durch die Höhen und Tiefen zu begleiten. Danke für eine ausnahmslos konstruktive Unterstützung - gerade auch in unerfreulichen Belangen.

Als Mutter sind „akademische Eskapaden“ wie eine Dissertation immer auch mit einer fühlbaren Belastung der Familie verbunden. Danke für Eure Geduld mit mir – vom nicht-da-Sein bis zur launischen Unerträglichkeit oder Dauererschöpfung, und das über Jahre und diverse Ferien hinweg. Ohne die unerschütterliche Unterstützung meines Mannes Ullrich Weirauch gäbe es diese Arbeit nicht.

Die familiäre Infrastruktur wurde über lange Phasen maßgeblich gestützt durch die Hilfe meiner Eltern Heidrun und Dr. Peter Sommerkamp. Danke für hunderterlei Suppentöpfe, Quiches, Kuchen, Hunde-Sitting-Wochen und Eure stete Unterstützung meines Vorhabens! Abgesehen davon aber auch Danke dafür, dass die Ausbildung Eurer Kinder immer an erster Stelle stand – ein Ansatz, dessen Ergebnis sicher auch diese Arbeit ist.

Dass das siebte Jahr kein „verflixtes“ ist, sondern ich nach wie vor sehr gern „in die Uni“ gehe, liegt an den tollen Mitarbeitern unseres Arbeitskreises und des Instituts. Die vielen kleinen Details in denen sie mich täglich unterstützen, sind das Eine. Das Andere ist die Solidarität in allen Belangen, der Zuspruch und die immer gute Arbeits-Atmosphäre, die Ihr bewirkt. Zu nennen sind hier vor allem Cornelia Walter, Ingo Ehrensberger und Denise Fischer – ohne Euch hätte es kaum eine der hier beschriebenen Veranstaltungen gegeben – Danke! Christiane Fenner und Denise Böhm, meinen Mit-Doktorandinnen, danke ich für das immer offene Ohr, viel Gelächter, diverse Suppentöpfe und Schokolädchen und die stete Bereitschaft, immer als „Nöl-Stütze“ oder „Gedanken-sortier-Gegenpart“ da zu sein – es ist toll mit Euch!

Ein ganz großes Danke geht an Dr. Susanne Kuger, die das Doktorierenden-Coaching des M!ND-Center nun seit mehreren Jahren leitet. Liebe Susanne, ohne Deinen unglaublich professionellen, stringenten, sehr zielführenden und dennoch immer humorvollen und ungemein sympathischen Input wäre aus hunderterlei konfusem Ideen nie eine stringente Forschungs-Idee geworden – geschweige denn eine Dissertation. Danke! Und ohne meine Mitstreiter Christoph Stolzenberger, Markus Elsholz, Thomas Amend, Sabine Glaab, Susan Fried, Roland Biernacki, Florian Treisch und alle weiteren Teilnehmer des M!ND-Coachings-Teams wäre so manche Durststrecke noch viel unerfreulicher gewesen. Danke für Zeit, Kraft, Zusammenhalt, offene Ohren, gute Ideen und ganz viel „Brezn mit Schnubbel-Kram“.

In jeder Dissertation gibt es wohl Schlüsselmomente, in denen nach langem Ringen endlich wieder ein „Fortschrittchen“ oder auch ein plötzlicher großer Sprung geschafft

wird. Maßgebliche Impulsgeber in solchen Momenten waren Prof. Dr. Claudia Nerdel, Prof. Dr. Oliver Tepner und Dr. Karin Lohwasser, denen ich hiermit sehr danken möchte dafür, dass sie sich die Zeit genommen haben, sich in meine Probleme einzudenken und die mir an neuralgischen Punkten sehr weitergeholfen haben. Herzlichen Dank in diesem Zusammenhang auch an Prof. Dr. Andreas Kometz, der mir als Zweitkorrektor sehr zügig, gründlich und hilfreich Rückmeldung auf meine Ideen und Entwürfe gegeben hat. Dr. Stephan Wagner und Dr. Rüdiger Bertermann möchte ich danken für ihre kritische Durchsicht solcher Abschnitte der Arbeit, bei denen man auf den letzten Metern noch am unsichersten ist und daher besonders dankbar für jemanden, der die Geduld und Zeit aufbringt zu kritisch-konstruktiver Rückmeldung.

Und ganz zum Schluss aber dennoch ganz besonders möchte ich danken allen Kolleginnen und Kollegen, die mir Vertrauen entgegengebracht und sich zu einem oder mehreren Interviews im Rahmen dieser Arbeit bereit erklärt haben. Wie viel Belastung man als Lehrkraft im „Job“ zu bewältigen hat, weiß ich aus eigener Anschauung. Umso dankbarer bin ich, dass Sie Ihre Erfahrungen mit mir geteilt und so die Erkenntnisse dieser Dissertation erst ermöglicht haben. Besonderer Dank geht auch an die P- und W-Seminar-Lehrkräfte, die in verschiedensten Projekten mit mir kooperiert haben. Es hat mir sehr viel Spaß gemacht, mit Ihnen und Ihren Schülern zusammen zu arbeiten! Und ich freue mich, dass ich als ein „Nebenprodukt“ dieser Dissertation sehr viele schöne und produktive Kontakte zu Kollegen und Kolleginnen gewinnen konnte. Danke!



Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die Dissertation mit dem Titel

„Neue Herausforderungen an die professionellen Kompetenzen von Chemie-Lehrkräften durch die Implementation von Seminarfächern“

selbständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Ich erkläre außerdem, dass diese Dissertation weder in gleicher oder in anderer Form bereits in einem anderen Prüfungsverfahren vorgelegen hat.

Ich habe früher außer den mit dem Zulassungsgesuch urkundlich vorgelegten Graden keine weiteren akademischen Grade erworben oder zu erwerben versucht.

Würzburg, den _____

Original-Unterschrift (Vor- und Zuname)



Vor- und Zuname (Druckschrift)

Erklärung

Hiermit erkläre ich an Eides statt, dass ich die Dissertation mit dem Titel

„Neue Herausforderungen an die professionellen Kompetenzen von Chemie-Lehrkräften durch die Implementation von Seminarfächern“

Bei Abbildungen aus Journalen das Copyright von den Verlagen bzw. vom Autor eingeholt habe. Bei Abbildungen aus dem Internet habe ich den entsprechenden Link angegeben.

Würzburg, den _____

Original-Unterschrift (Vor- und Zuname)