

*Das erweiterte Fachwissen für den schulischen  
Kontext* als Leitlinie für eine additive fachliche  
Lehrveranstaltung im Lehramtsstudium Biologie

---

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades  
"doctor rerum naturalium"  
(Dr. rer. nat.)  
in der Wissenschaftsdisziplin "Didaktik der Biologie"

eingereicht an der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät  
Institut für Biologie und Biochemie  
der Universität Potsdam

von  
Sandra Woehlecke

Datum der Disputation: 17.08.2021

Soweit nicht anders gekennzeichnet, ist dieses Werk unter einem Creative-Commons-Lizenzvertrag Namensnennung 4.0 lizenziert. Dies gilt nicht für Zitate und Werke, die aufgrund einer anderen Erlaubnis genutzt werden. Um die Bedingungen der Lizenz einzusehen, folgen Sie bitte dem Hyperlink:  
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>

1. Gutachter: Prof. Dr. Helmut Prechtel
2. Gutachter: Prof. Dr. Ulrich Kortenkamp
3. Gutachter: Prof. Dr. Martin Lindner

Online veröffentlicht auf dem  
Publikationsserver der Universität Potsdam:  
<https://doi.org/10.25932/publishup-52120>  
<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-521209>



## Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Helmut Prechtel für die ausgezeichnete Betreuung dieser Arbeit. Er hatte immer ein offenes Ohr, nahm sich Zeit für meine Anliegen und stand mir mit Rat zur Seite. Ich danke ihm sehr für die anregenden Gespräche in unseren zweiwöchentlichen Jour-Fixe-Terminen, die des Öfteren weit über die vereinbarte Zeit hinausgingen. Neben allen Ratschlägen bin ich ihm darüber hinaus auch für die geistigen und zeitlichen Freiräume, die er mir für die Durchführung der Studie und die Erstellung der Arbeit eingeräumt hat, überaus dankbar.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Ulrich Kortenkamp für die Zweitbegutachtung dieser Arbeit und für die inspirierenden Einsichten zum *erweiterten Fachwissen* aus Sicht der Mathematik. Auch Herrn Prof. Dr. Martin Lindner danke ich sehr für die Übernahme der Gutachtertätigkeit.

Die Studie wurde innerhalb des Projekts PSI-Potsdam durchgeführt, welches im Zuge der Qualitätsoffensive Lehrerbildung mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung finanziert wurde, wofür ich mich bedanken möchte.

Ein großer Dank gilt der gesamten PSI-Projektgruppe des Schwerpunkts „Professionalisierung“ und insbesondere Frau Dr. Ingrid Glowinski für die herausragende wissenschaftliche Koordination dieses akademisch „bunten Haufens“. Die gemeinsamen Treffen und Besprechungen unter Promovierenden und innerhalb der gesamten interdisziplinären Projektgruppe habe ich stets als überaus bereichernd empfunden. Ohne die gewinnbringende Projektarbeit wäre die Konzeption des Modells des *erweiterten Fachwissens* und diese daraus resultierende Arbeit nicht zustande gekommen. Ich möchte auch meiner ehemaligen Kollegin Katja Unverricht für die gute Zeit im gemeinsamen Büro danken. Der Austausch über die Lehre und ihre Perspektive als Biologielehrkraft waren stets bereichernd.

Der Arbeit liegen ca. 65 h Video-/Audiomaterial zugrunde. Ich bin allen studentischen Mitarbeiterinnen, insbesondere Maria Griebel und Susanna Israel, für diese Transkriptionsleistung zu tiefem Dank verpflichtet. Ich danke ebenso allen Studierenden für die bereitwillige Teilnahme an der Studie.

Dr. Julia Jennek und Johanna Goral danke ich für all die gemeinsamen Kaffees, produktiven Besprechungen, motivierenden Zusammenkünfte, klugen Ratschläge, morgendlichen Zugfahrten, spontanen Zoom-Meetings und privaten Treffen die ich jederzeit genossen habe.

Zuletzt möchte ich meiner Familie danken. Meine Eltern haben mich sowohl mein gesamtes Studium als auch in meinem Vorhaben zu promovieren, stets unterstützt. Insbesondere möchte ich Georg Fröbing und Theodor danken. Obgleich sie mich vor allem zum Abschluss der Dissertation gelegentlich entbehren mussten, boten sie mir fortwährend einen wunderbaren Ausgleich zur wissenschaftlichen Arbeit.



## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema „*Das erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext*“ als Leitlinie für eine additive fachliche Lehrveranstaltung im Lehramtsstudium Biologie“ selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Alle sinngemäß und wörtlich übernommenen Textstellen aus fremden Quellen wurden kenntlich gemacht.



# Inhaltsverzeichnis

## **EINLEITUNG**

1	AUSGANGSSITUATION .....	14
2	AUFBAU UND ZIELE DER ARBEIT .....	18

## **THEORETISCHER HINTERGRUND**

3	MODELLE ZUR PROFESSIONALISIERUNG.....	20
4	PARADIGMEN DER LEHRKRÄFTEBILDUNG.....	21
5	PROFESSIONSWISSEN VON (ANGEHENDEN) LEHRKRÄFTEN .....	24
5.1	Modellierungen des Professionswissens.....	24
5.2	Fachwissen von (angehenden) Lehrkräften .....	29
5.3	Fachinteresse .....	33
5.4	Wahrgenommene Relevanz von universitär vermitteltem Wissen im Lehramtsstudium .....	34
5.5	Modellierungsansätze zum berufsspezifischen Fachwissen von (angehenden) Lehrkräften .....	35
5.5.1	Mathematik .....	35
5.5.2	Physik .....	38
6	DAS MODELL DES <i>ERWEITERTEN FACHWISSENS FÜR DEN SCHULISCHEN KONTEXT</i> .....	41
6.1.1	Wissen über Konzepte und ihre Anwendung im jeweiligen Fach.....	43
6.1.2	Wissen über Erkenntnisprozesse unter Einbezug von Theorie, Fachsprache, Erkenntnis- und Gültigkeitsprinzipien im Fach .....	47
6.1.3	Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren.....	50
7	LEHR-LERNTHEORETISCHER HINTERGRUND .....	52
7.1	Theorie des bedeutungsvollen Lernens (Meaningful Learning) .....	53
7.2	Kumulatives Lernen.....	54
7.3	Conceptual Change-Theorie.....	55

## **METHODOLOGISCHER HINTERGRUND**

8	FACHDIDAKTISCHE ENTWICKLUNGSFORSCHUNG ALS FORSCHUNGSMETHODOLOGISCHER RAHMEN.....	57
9	DIDAKTISCHE REKONSTRUKTION ALS LEITLINIE FÜR DIE KONSTRUKTION VON LERNGELEGENHEITEN	65
10	ZENTRALE FRAGESTELLUNGEN .....	69

## **DESIGNRAHMEN**

11	SPEZIFIZIERUNG DES FACHLICHEN LERNGEGENSTANDS.....	70
11.1	Beschreibung des fachlichen Gegenstands.....	70
11.2	Beschreibung des Schulwissens und universitären Wissens.....	86
11.3	Schüler- und Studierendenvorstellungen zum fachlichen Gegenstand der Zellbiologie und insbesondere der Biomembran.....	93
12	ENTWICKLUNG DES LEHRVERANSTALTUNGS-DESIGNS .....	95
12.1	Sitzung 1 – Prätest und Einführung .....	96
12.2	Sitzung 2 – Wissen sichtbar machen – Kooperative Erstellung von Concept Maps	96



12.3	Sitzung 3 – „Fachliche Klärung“ als Teil der Didaktische Rekonstruktion (Teil 1) – Open-Source Materialien dekonstruieren .....	100
12.4	Sitzung 4 – „Fachliche Klärung“ als Teil der Didaktische Rekonstruktion (Teil 2) – Schulbuchtexte dekonstruieren .....	102
12.5	Sitzung 5 – Eine konzeptorientierte Sachanalyse schreiben (Rekonstruktion – Teil 1).....	104
12.6	Sitzung 6 – Einen konzeptorientierten Lerntext schreiben (Rekonstruktion – Teil 2).....	107
13	ENTWICKLUNG VON DESIGN-PRINZIPIEN .....	109
13.1	Operationalisierung von Design-Prinzipien .....	109
14	DESIGN-EXPERIMENTE .....	114
14.1	Grundlage: Qualitative Sozialforschung und Qualitative Inhaltsanalyse .....	114
14.2	Abfolge der Design-Experimente .....	116
14.2.1	Prätest .....	116
14.2.2	Kooperative Erstellung einer Concept Map .....	120
14.2.3	Retrospektive (Partner-)Interviews zu den Lerngelegenheiten .....	124
14.2.4	Design-Experiment zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten.....	126
14.2.5	Design-Experimente zur Erstellung von Sachanalysen und fachlichen Lerntexten .....	128
14.2.6	Laut-Denken-Studie (Posttest) .....	129
14.3	Zuverlässigkeit der Einordnung in die Kategorien (Interraterreliabilität) .....	130
14.4	Kategorienbasierte Auswertung und Ergebnisdarstellung.....	132
14.5	Stichprobenbeschreibung.....	134
<b>ERGEBNISSE</b>		
15	FALLÜBERGREIFENDE ANALYSEN .....	136
15.1	Subjektiver Professionalisierungsbegriff.....	136
15.2	Einstellungen zum Lehramtsstudium .....	137
15.3	Einschätzungen zum Fachwissen .....	138
15.4	Wahrgenommene Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens.....	141
16	EINZELFALLANALYSEN.....	145
16.1	Zyklus 1: Sommersemester 2017 .....	146
16.1.1	Claudia .....	146
16.1.2	Michelle.....	157
16.1.3	Zusammenfassung vorgenommener Iterationen nach Zyklus 1.....	166
16.2	Zyklus 2: Sommersemester 2018 .....	167
16.2.1	Tobias .....	167
16.2.2	Yasmin .....	177
16.2.3	Zusammenfassung vorgenommener Iterationen nach Zyklus 2 .....	183
16.3	Zyklus 3: Wintersemester 2018/19.....	185
16.3.1	Amar .....	185
16.3.2	Christina.....	193
16.3.3	Zusammenfassung vorgenommener Iterationen nach Zyklus 3 .....	203
17	ZUSAMMENFASSENDE ITERATION DER DESIGN-PRINZIPIEN AUS ALLEN DREI ZYKLEN .....	204

## DISKUSSION

18	ERGEBNISDISKUSSION .....	208
18.1	Anwendung von Schulwissen und universitären Wissen (FF 1.1) .....	208
18.2	Entwicklung der fachlichen Studierendenkonzepte (FF 1.2) .....	209
18.3	Fallübergreifende Schlüsselstellen in Lernprozessen.....	210
18.4	Fallübergreifende typische Hürden in Lernprozessen .....	210
18.5	Entwicklungen der wahrgenommenen Berufsrelevanz fachlicher Inhalte (FF 1.3) ....	212
18.6	Anwendung des <i>erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext</i> und Implikationen hinsichtlich der Ausgestaltung des Konstrukts .....	213
19	METHODENDISKUSSION .....	216
19.1	Limitation der Arbeit .....	216
19.2	Diskussion zur Methodologie .....	218
20	FAZIT UND AUSBLICK.....	221
21	LITERATURVERZEICHNIS .....	223

## ANHANG

I.	MATERIAL ZUR LEHRVERANSTALTUNG.....	243
I.a)	Prätest.....	243
I.b)	Arbeitsblatt: Aufgabenstellung zur kooperativen Erstellung einer Concept Map .	255
I.c)	Arbeitsblatt: Aufgabenstellung zur Dekonstruktion eines Schulbuchtextes .....	256
I.d)	Arbeitsblatt: Aufgabenstellung zum Verfassen einer konzeptorientierten Sachanalyse .....	257
I.e)	Arbeitsblatt: Aufgabenstellung zur Erstellung eines konzeptorientierten Lerntextes. ....	258
I.f)	Laut Denken Studie (Posttest) – Material für die Versuchsleitung .....	259
II.	CODIERLEITFÄDEN .....	269
II.a)	Codierleitfaden zur Auswertung der offenen Aufgaben des Prätests und der Laut-Denken-Studie .....	269
II.b)	Codierleitfaden für die Auswertung kooperative Erstellung einer Concept Map.....	285
II.c)	Codierleitfaden für die Auswertung der kooperativen Dekonstruktion von Schulbuchtexten.....	293
II.d)	Codierleitfaden für die Auswertung der konzeptorientierten Sachanalyse und des Lerntextes .....	296
II.e)	Codierleitfaden für die Auswertung der retrospektiven Kurzinterviews .....	301

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Angaben zu fachwissenschaftlichen Veranstaltungen speziell für Lehramtsstudierende der Sekundarstufe II verschiedener Universitäten (Centrum für Hochschulentwicklung gGmbH 2016).....	15
Abbildung 2	A Model of Pedagogical Reasoning and Action (nach Shulman, 1987, S. 15).....	26
Abbildung 3	Modell der professionellen Handlungskompetenz (Baumert und Kunter 2006, S. 482).....	27
Abbildung 4	Wissensbereiche des Professionswissens und Kategorien des Fachwissens (in Anlehnung an Baumert und Kunter 2006 und Riese 2009).....	41
Abbildung 5	Modell des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext.....	42
Abbildung 6	Ziele, Arbeitsbereiche und Gegenstände fachdidaktischer Entwicklungsforschung (Prediger und Link 2012, S. 29).....	59
Abbildung 7	Zyklus der fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Prediger et al. 2012, S. 454).....	60
Abbildung 8	Didaktischer Bezugsrahmen zur Entwicklung von Design-Prinzipien (nach Euler 2014, S. 106).....	62
Abbildung 9	Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Gropengießer 2007; nach Lakoff und Johnson 2014 [1980]).....	66
Abbildung 10	Modell der Didaktischen Rekonstruktion: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben (Gropengießer und Kattmann 2016b) .....	66
Abbildung 11	Teilaufgaben zur fachlichen Klärung (verändert nach Gropengießer et al. 2016).....	67
Abbildung 12	Postuliertes Membranmodell im Artikel „A contribution to the theory of permeability of thin films“ (verändert nach Danielli und Davson 1935).....	71
Abbildung 13	Darstellung des Modells im Artikel „The fluid mosaic model of the structure of cell membranes“ (verändert nach Singer und Nicolson 1972) .....	72
Abbildung 14	Darstellung einer Plasmamembran (Quelle: Wikipedia, gemeinfreie Darstellung) ...	74
Abbildung 15	Übersicht über die chemischen Strukturen wichtiger Membranlipide (verändert nach Berg et al. 2018, S. 352–353).....	75
Abbildung 16	Schematische Darstellung von Lipidaggregaten (verändert nach Wikipedia, gemeinfreie Abbildung) .....	77
Abbildung 17	Erleichterte Diffusion durch ein Kanalprotein und Transportprotein (Carrier, Uniport) (verändert nach Wikipedia, gemeinfreie Abbildung).....	80
Abbildung 18	Drei Gruppen von Transporterproteinen (Carrier) unterteilt nach Transportrichtung und Konzentrationsgefälle. (verändert nach Wikipedia, gemeinfreie Abbildung).....	81
Abbildung 19	Transportwege durch die Zelle (verändert nach Alberts et al. 2011).....	85
Abbildung 20	Vorgehen zur Bestimmung der Wissenskategorien "Schulwissen" und "universitäres Wissen" .....	88
Abbildung 21	Aufgabenstellung zur Erstellung einer kooperativen Concept Map - Auszug aus dem Arbeitsblatt .....	99
Abbildung 22	Aufgabenstellung zur Dekonstruktion von fachlichen Open-Source-Texten .....	101
Abbildung 23	Aufgabenstellung zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten.....	104
Abbildung 24	Aufgabe zum Verfassen einer konzeptorientierten Sachanalyse .....	106
Abbildung 25	Beispielhafter Ausschnitt der Vorlage zur Erstellung der konzeptorientierten Sachanalyse .....	106
Abbildung 26	Auszug aus Aufgabe zur Erstellung eines Lerntextes (gesamtes Aufgabenblatt im Anhang).....	107
Abbildung 27	Beispielhafter Ausschnitt der Vorlage zur Erstellung des konzeptorientierten Lerntextes.....	108

Abbildung 28	Abfolge Design-Experimente mit den jeweiligen Erhebungsmodi (Symbole).....	116
Abbildung 29	Prototypisches Setting zur Datenaufnahme bei der kooperativen Erstellung einer Concept Map - hier beispielhaft für den Zyklus 1 .....	120
Abbildung 30	Scoringsystem für die Bewertung von Propositionen einer Concept Map (modifiziert nach Clausen und Christian 2012) .....	124
Abbildung 31	Leitfaden für das Kurzinterview zur Wahrnehmung der Lerngelegenheit zur kooperativen Erstellung der Concept Map .....	125
Abbildung 32	Prototypischer Lernpfad zur Darstellung von Konzepten und ihren Entwicklungen (in Anlehnung an Hiller 2017) .....	134
Abbildung 33	Einschätzungen zum eigenen biologischen Fachwissen im Vergleich zu den Mitstudierenden .....	138
Abbildung 34	Einschätzungen zum zellbiologischen Fachwissen im Vergleich zu anderen Fachgebieten der Biologie.....	138
Abbildung 35	Interesse an Zellbiologie, die in der Schule und in der Universität vermittelt wird (emotional).....	140
Abbildung 36	Interesse an Zellbiologie, die in der Schule und in der Universität vermittelt wird (wertebezogen) .....	140
Abbildung 37	Einschätzungen zum eigenen schulbezogenen und universitären zellbiologischen Fachwissen. ....	141
Abbildung 38	Lernpfad Claudia zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 1) .....	149
Abbildung 39	Lernpfad Michelle zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 1).....	159
Abbildung 40	Lernpfad von Tobias zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 2) .....	170
Abbildung 41	Lernpfad von Yasmin zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 2) .....	179
Abbildung 42	Lernpfad von Amar zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 3).....	188
Abbildung 43	Lernpfad Christina zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 3) .....	196
Abbildung 44	Adaptiertes Modell des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext im Rahmen dieser Studie.....	215
Abbildung 45	Adaptiertes Dortmunder Modell der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Rahmen dieser Studie (Darstellung in Anlehnung an Prediger et al. 2012) .....	219

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht zu pädagogisch-psychologischen Paradigmen in der Forschung zu Lehrkräften (Jahreszahlen in grober Näherung) (nach Krauss und Bruckmeier 2014, S. 242) .....	21
Tabelle 2	Merkmale des Expertenwissens (nach Bromme 1992).....	22
Tabelle 3	Kategorien der inhaltlichen Wissensbasis (categories of knowledge-base) einer Lehrkraft nach Shulman (1987).....	24
Tabelle 4	Übersicht über die dieser Arbeit zugrunde liegenden Ausarbeitungen zu Wissensrepräsentationen .....	30
Tabelle 5	Facetten und Beschreibungen des FWSK und die zugrundeliegenden theoretischen, normativen und empirischen Ressourcen .....	43
Tabelle 6	Übersicht über die hier aufgegriffenen Konzeptionen zu Konzepten in der Biologie	45
Tabelle 7	Protein/Lipid-Gewichtsverhältnisse verschiedener Biomembranen (Kleinig und Sitte 1984, S. 30) .....	73
Tabelle 8	Lipidmuster verschiedener Membranen (Massenanteil in %) (in Anlehnung an Kleinig und Sitte 1984, S. 31) .....	76
Tabelle 9	Entscheidungskriterien für die Kategorie "teilweise vorhanden" bei unterschiedlichen Darstellungsformen .....	88
Tabelle 10	Beispielhafte Durchführung des curricularen Vergleichs von Vorlesungsinhalten mit Schulbuchinhalten.....	89
Tabelle 11	Konzepte (Kategorien und Subkategorien) zum universitären Wissen im Themenbereich "Struktur und Funktion der Biomembran".....	90
Tabelle 12	Bespielhafte Generierung von Konzepten innerhalb des Schulwissens anhand des Schulbuchs Linder Biologie Oberstufe (Bayrhuber et al. 2004).....	91
Tabelle 13	Konzepte (Kategorien und Subkategorien) zum Schulwissen im Themenbereich "Struktur und Funktion der Biomembran" .....	92
Tabelle 14	Übersicht über die Abfolge der jeweiligen Lehrveranstaltungssitzungen und den dazugehörigen Lerngelegenheiten.....	96
Tabelle 15	Verschiedene Operationalisierungsstufen für die Konkretisierung von Design-Prinzipien.....	110
Tabelle 16	Operationalisierung des Designprinzips "Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext explizieren" zu Beginn des Zyklus 1 (Darstellung in Anlehnung an Hiller 2017) .....	111
Tabelle 17	Operationalisierung des Designprinzips "Vorwissen aktivieren " zu Beginn des Zyklus 1 (Darstellung in Anlehnung an Hiller 2017) .....	112
Tabelle 18	Operationalisierung des Designprinzips "Dekonstruktion und Rekonstruktion" zu Beginn des Zyklus 1 (Darstellung in Anlehnung an Hiller 2017) .....	113
Tabelle 19	Wissenschaftliche Grundprinzipien des qualitativen Paradigmas nach Döring und Bortz (2016) und ihre Bedeutung für diese Studie .....	114
Tabelle 20	Übersicht über die Items zur Erhebung nichtkognitiver Aspekte im Prätest.....	117
Tabelle 21	Übersicht über Items aus dem fachwissenschaftlichen Teil des Prätests.....	118
Tabelle 22	Auszug aus dem Codierleitfaden zur Auswertung des fachwissenschaftlichen Teils des Prätests.....	119
Tabelle 23	Auszug aus Codierleitfaden für die kooperative Erstellung von Concept Maps zum Thema Struktur und Funktion von Biomembranen (vollständiger Codierleitfaden im Anhang II.b) .....	122
Tabelle 24	Kategorien zur Beschreibung von Relationen innerhalb einer Concept Map mit Beispielen (orientiert an Clausen und Christian 2012).....	123
Tabelle 25	Auszug aus dem Kategoriensystem zur Auswertung eines retrospektiven (Partner-)Interviews zur Wahrnehmung einer Lerngelegenheit (verändert nach Griebel 2017) (vollständiger Codierleitfaden im Anhang II.e).....	126

Tabelle 26	Auszug aus dem Codierleitfaden zur Auswertung der Dekonstruktion von Schulbuchtexten. (vollständiger Codierleitfaden im Anhang II.c).....	127
Tabelle 27	Auszug aus dem Codierleitfaden für die Erstellung der Sachanalyse (vollständiger Codierleitfaden im Anhang II.d).....	128
Tabelle 28	Interraterreliabilität zur Zweitcodierung von einem Sechstel des gesamten Datenmaterials aller Design-Experimente .....	132
Tabelle 29	Prototypische Profilmatrix (verändert nach Kuckartz 2010, S. 73-74).....	133
Tabelle 30	Ergebnisse zum subjektiven Professionalisierungsbegriff (n=29).....	136
Tabelle 31	Ergebnisse zum Fachinteresse Biologie in Schule und Universität (n=29) .....	139
Tabelle 32	Bewertungsergebnis der Concept Map von Claudia und Lisa (Zyklus 1) .....	148
Tabelle 33	Bewertungsergebnis der Concept Map von Michelle und Jana (Zyklus 1).....	158
Tabelle 34	Bewertungsergebnis der Concept Map von Tobias und Paula (Zyklus 2).....	168
Tabelle 35	Bewertungsergebnis der Concept Map von Yasmin, Katharina und Yunus (Zyklus 2) .....	178
Tabelle 36	Bewertungsergebnis der Concept Map von Amar, Clara und Marina (Zyklus 3) .....	186
Tabelle 37	Bewertungsergebnis der Concept Map von Christina und Moritz (Zyklus 3).....	195
Tabelle 38	Legende zu Symbolen und Kennzeichnungen für die vorgenommenen Änderungen hinsichtlich der Design-Prinzipien .....	204
Tabelle 39	Vorgenommene Iterationen hinsichtlich des Designprinzips „Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext explizieren“ .....	204
Tabelle 40	Vorgenommene Iterationen hinsichtlich des Designprinzips „Vorwissen aktivieren“ .....	205
Tabelle 41	Vorgenommene Iterationen hinsichtlich des Designprinzips „Dekonstruktion und Rekonstruktion“ .....	206
Tabelle 42	Gütekriterien nach Steinke (2000) und ihrer Berücksichtigung in der vorliegenden Arbeit.....	216



# Einleitung<sup>1</sup>

## 1 Ausgangssituation

“To teach is first to understand” (Shulman 1987, S. 19) – Dieses Zitat von Lee Shulman wirkt auf den ersten Blick bestechend plausibel. Auf den zweiten Blick wirft es bedeutsame Fragen zur Ausbildung berufsspezifischer Kompetenzen bei Lehrkräften auf, die seit Dekaden zentral für die Lehrkräftebildung und Professionalisierungsforschung sind. Was sollen Lehrkräfte wissen bzw. verstehen, um unterrichten zu können? Und wie bzw. wann entwickelt sich dieses professionelle Wissen?

Professionalisierung bezeichnet das individuelle Hineinwachsen eines Berufsneulings in die Rolle, den Status und die Kompetenz eines Professionellen (becoming professional) (Terhart 2011). Was Lehrkräfte wissen sollen, treibt die Forschung zur Professionalisierung seit Jahrzehnten um und ist besonders für die erste Phase der Lehrerbildung, d.h. (in weiten Teilen Deutschlands) dem universitären Studium, von großer Bedeutsamkeit. Reformen des universitären Lehramtsstudiums erfordern Handlungsbedarf und Entscheidungen – An vielen Universitäten stehen weniger Leistungspunkte (ECTS-Punkte, Creditpoints) für die fachwissenschaftlichen Studienanteile zur Verfügung. So sind beispielsweise an der Universität Potsdam im Bachelorstudium für die Sekundarstufen I und II nur noch 69 Leistungspunkte für die Studienanteile eines Fachs verfügbar. Davon entfallen im Lehramtsstudium Biologie 14 Leistungspunkte für Module der Fachdidaktik (Universität Potsdam 2013). Auch an anderen Universitäten, wie zum Beispiel der Freien Universität Berlin, der Universität Duisburg Essen, der Universität Bremen oder der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel stehen im Vergleich weniger Leistungspunkte für die fachwissenschaftlichen Studienanteile zur Verfügung (Centrum für Hochschulentwicklung gGmbH 2016). Dies hat mehrere Gründe: Unter anderem wurden die ursprünglich zur Verfügung stehenden Leistungspunkte zugunsten der wichtigen inklusionspädagogischen Weiterbildung verteilt. Dementsprechend hat sich eine herausfordernde, aber durchaus chancenreiche Diskussion darüber entwickelt, wie die im Fach zur Verfügung stehenden Leistungspunkte zielführend genutzt werden können – Immer im Bewusstsein dessen, dass es prinzipiell mehr gibt, was wert ist zu lernen, als dass tatsächlich gelernt werden kann.

Es scheint bei dieser Diskussion außer Frage zu stehen, dass für einen in den „Ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung“ geforderten, sach- und fachgerechten Unterricht ein „fundiertes und anschlussfähiges“ Fachwissen obligatorisch ist. Ein „solides und strukturiertes Fachwissen“, ein „Überblickswissen“, ein „technologisches Fachwissen“ und ein „reflektiertes Wissen“ sollen sich innerhalb des Studiums bei angehenden Lehrkräften der Sekundarstufen I und II für die jeweiligen Fächer ausbilden (KMK 2008, 3 f.). Doch über welches konkrete fachliche Wissen sollen angehende Lehrkräfte verfügen? Welche Inhalte sind auf welchen Niveaustufen relevant? Und wie gestaltet sich eine nachhaltige und

---

<sup>1</sup> Das dieser Dissertation zugrundeliegende Vorhaben wurde im Rahmen der der gemeinsamen „Qualitätsoffensive Lehrerbildung“ von Bund und Ländern mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin.



berufsbezogene Vermittlung dieses Wissens von universitärer Seite? Dies alles sind Fragen, welche durch die „Ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen“ nicht geklärt werden. Weiterhin wird die Diskussion auch dadurch verstärkt, dass es bisher keinen empirischen Nachweis dafür gibt, dass ein besonders hohes akademisches Fachwissen der Lehrkraft zu erfolgreichem Unterricht führt (z.B. Blömeke 2009).

In weiten Teilen Deutschlands studieren Lehramtsstudierende innerhalb der fachwissenschaftlichen Studienanteile gemeinsam mit Fachstudierenden. Zumindest für das Lehramtsstudium der Sekundarstufe II sind abschlussbezogene fachwissenschaftliche Veranstaltungen selten anzutreffen (Abbildung 1).

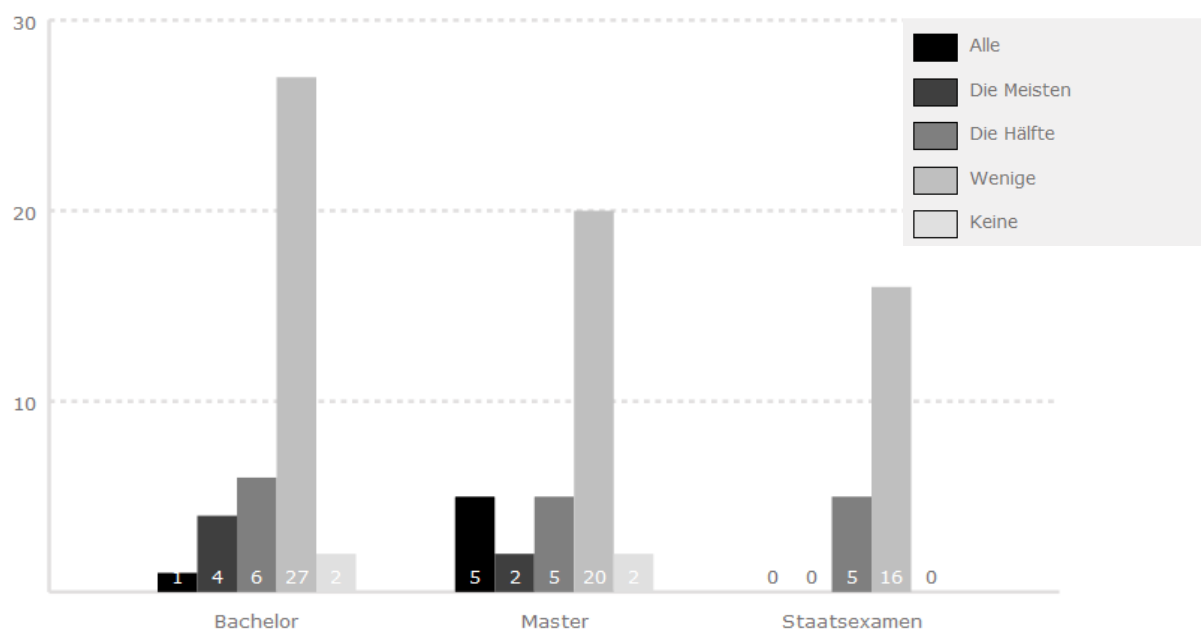


Abbildung 1 Angaben zu fachwissenschaftlichen Veranstaltungen speziell für Lehramtsstudierende der Sekundarstufe II verschiedener Universitäten (Centrum für Hochschulentwicklung gGmbH 2016)

In den „Ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung“ heißt es dazu: „Zwar erfordern das „Zwei-Fach-Studium“ und die spezifischen Anforderungen, die die Schule stellt, dass gewisse Teile des lehramtsbezogenen Studiums auf dieses Studienziel hin konzipiert werden müssen, also ein Lehramtsstudium sui generis bilden. Dies betrifft aber nicht das gesamte Studium [...]“ (KMK 2008, S. 5). Im Lehramt für die Grundschule werden bundesweit hingegen fast alle fachlichen Veranstaltungen abschlussbezogen angeboten (Centrum für Hochschulentwicklung gGmbH 2016). Es konnte gezeigt werden, dass ein erhöhter Anteil an abschlussbezogenen Lehrveranstaltungen im Studium im Zusammenhang mit einer erhöhten Wahrnehmung der Professionsorientierung seitens der Studierenden steht (Giest et al. 2013).

Der fehlende Abschlussbezug in den fachlichen Studienanteilen fällt Studierenden im Lehramt für die Sekundarstufen, negativ auf. Ein Großteil der Studierenden empfindet zudem die fachliche Ausbildung an der Universität als überbetont im Vergleich zur fachdidaktischen Ausbildung (AG Studienqualität 2011; Riese 2009; Lersch 2006). Dass sich Lehramtsstudierende durch ihr Studium oftmals unzureichend auf ihren zukünftigen Beruf vorbereitet sehen, kann u.a. auch anhand der Befragungen von Mischau und Blunck (2006),

Riese (2009), Vogelsang (2014) und für den internationalen Bereich<sup>2</sup> auch Koponen et al. (2016) nachvollzogen werden. Auch Referendar\*innen verneinten in der Studie von Lersch (2006), dass die von ihnen absolvierten fachwissenschaftlichen Studienanteile einen angemessenen Berufsfeldbezug aufwiesen.

Das *paradox of learning now for later use* (Gruber et al. 2000), wonach Lernende häufig nicht antizipieren können, wofür das Gelernte angewendet wird, kann (in der Regel) für angehende Lehrkräfte nicht gelten. Sie hatten in ihrer eigenen schulbiografischen Entwicklung durchaus Gelegenheit, die Handlungsfelder ihres späteren Berufes aus Schülerperspektive zu beobachten und Vorstellungen darüber zu entwickeln, welches Fachwissen eine Lehrkraft benötigt. Vielmehr kann man von einer wahrgenommenen *Doppelten Diskontinuität* sprechen. Der Begriff wurde bereits Anfang des 20. Jahrhunderts von Felix Klein eingeführt und beschreibt die von angehenden Lehrkräften wahrgenommenen inhaltlichen Brüche bei den Übergängen von der Schule in die Universität und wieder zurück von der Universität in die Schule. (Klein 1924)

Klein verweist auf zwei Möglichkeiten dieser doppelten Diskontinuität zu begegnen. Erstens beschreibt er Versuche, den Schulunterricht vermehrt mit „neuen, der modernen Entwicklung der Wissenschaft [...] angepaßten Ideen zu durchtränken“ (Klein 1924, S. 1). Zweitens plädiert er für eine „Berücksichtigung der Bedürfnisse der Lehrer im Universitätsunterricht“. Diese Berücksichtigung sieht er vor allem darin, den „Zusammenhang der Fragen der Einzeldisziplinen“ und die „Beziehungen zu den Fragen der Schulmathematik“ in einer „zusammenfassenden Vorlesung“ aufzuzeigen (Klein 1924, S. 2). Seit Klein hat sich die Diskussion rund um diese Problematik stetig intensiviert (Ableitinger et al. 2013).

Bei aller Diskussion zur Übertragbarkeit dieser Theorie, ist zu bedenken, dass die *Doppelte Diskontinuität* für die Mathematik formuliert wurde. Inwiefern und in welcher Intensität sie auch für andere Fächer gilt, ist bisher weniger beleuchtet. Deng (2007) nimmt diese Übertragbarkeit (zumindest für die Naturwissenschaften) an. Die generellen Unterschiede zwischen Schulfach und akademischer Disziplin sind hingegen mehrfach beschrieben (vgl. Stengel 1997; Deng 2007, 2013)

Der Unterschied zwischen dem Schulfach und der akademischen Disziplin ist nicht nur quantitativer Natur. Vielfach wird davon ausgegangen, dass sich die Inhalte des Schulfachs aus der zugehörigen Disziplin ergeben und sich dementsprechend das Schulfachwissen als Kontinuum aus dem akademischen Wissen speist (u.a. Tanner und Tanner 2007; Lampert 1991). Bereits Dewey (1902/1956, S. 16–17) bezeichnete bei seiner Ausdifferenzierung das Wissen in einer akademischen Disziplin als Endpunkt für alle Bemühungen im Schulfach. Das Schulfach soll demnach den Weg zur akademischen Disziplin auskleiden. Deng (2013) gibt diesbezüglich zu bedenken, dass es sich beim Schulfachwissen um mehr handelt, als den transformierten Inhalt per se. Bei genauer Betrachtung zeigen sich auch Parallelen zum

---

<sup>2</sup> International betrachtet, ergeben sich Verschiedenheiten bezüglich der Lehramtsausbildung, bzw. des Lehramtsstudiums. In Ländern wie Deutschland oder Österreich gibt es eine hybride Struktur aus Pädagogischen Hochschulen und Universitäten, die für einen Abschluss im Lehramt qualifizieren. In der Schweiz beispielsweise bieten ausschließlich Pädagogische Hochschulen ein Lehramtsstudium an. In anderen Ländern, wie Frankreich, entscheiden sich die Studierenden erst nach einigen Semestern des Fachstudiums für oder gegen das Lehramtsstudium. Auch in den USA wird nach einem fachlichen Bachelorstudium ein Lehrerausbildungsprogramm vollzogen. Aus diesen verschiedenen Systemen resultieren auch unterschiedliche Ansichten über die Bedeutung und Notwendigkeit der Fachexpertise, um den Beruf ausüben zu können.

Modell der didaktischen Rekonstruktion, wonach die Sachstruktur des Unterrichts sich nicht aus der Struktur der akademischen Referenzdisziplin ergebe, sondern im obligaten Zusammenspiel mit der Lernpotenzialdiagnose (Kattmann et al. 1997).

Das Modell des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext*<sup>3</sup>, welches durch die folgenden Kapitel hergeleitet und beschrieben wird, greift diese Überlegungen auf, indem ein Brückenschlag zwischen Schulfachwissen und akademischen Fachwissen durch einen lehramtsspezifischen Modus der Anwendung dieser Wissensbereiche vollzogen werden kann.

---

<sup>3</sup> Im Folgenden wird der Begriff *erweitertes Fachwissen* als Synonym für das Konstrukt des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* genutzt.

## 2 Aufbau und Ziele der Arbeit

Um das Konstrukt des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* theoretisch zu fundieren, werden zunächst normative und theoretische Grundlagen sowie der Stand der Forschung zum Professionswissen angehender Lehrkräfte beleuchtet.

Über Modelle zur Professionalisierung und den Paradigmen der Lehrkräftebildung wird sich dem dieser Arbeit zu Grunde gelegten Modell des Professionswissens genährt. Insbesondere das Fachwissen und der Zusammenhang zwischen Fachwissen und Performanz wird weiterhin theoretisch und anhand empirischer Ergebnisse aus der Literatur beleuchtet.

Im besonderen Fokus stehen im Folgenden die Ansätze zur Modellierung eines berufsbezogenen Fachwissens. Es wird anschließend anhand von empirischen Ergebnissen und normativen Ansätzen aufgezeigt, inwiefern sich das Konstrukt des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* gestaltet und was es für die Ausgestaltung von universitärer Lehre im Lehramt leisten kann. Auch der lehr-lerntheoretische Hintergrund, welcher der Entwicklung der Lehrveranstaltung zugrunde liegt, wird ausdifferenziert.

Die Methodologie zur fachdidaktischen Entwicklungsforschung wurde bereits vielfach erfolgreich auf die Entwicklung und Beforschung von Lehr-Lernarrangements für den Schulkontext angewendet. Für die universitäre Lehrerbildung und die Weiterentwicklung von Lehrveranstaltungen existieren hingegen weitaus weniger Studien. Diese Arbeit möchte zur Beantwortung der Frage beitragen, inwiefern dieser Forschungszweig auch in der universitären Lehrkräftebildung erfolgreich eingesetzt werden kann. Es wird dafür zunächst der methodologische Hintergrund in Form des Dortmunder Modells der fachdidaktischen Entwicklungsforschung und affinen Formen (wie Design Research) beleuchtet, um schließlich auf die konkrete Umsetzung für diese Studie einzugehen.

Die Spezifizierung des biologisch fachlichen Gegenstands (die Struktur und Funktion der Biomembran) stellt im Folgenden die Grundlage für die weiterführende Auseinandersetzung mit den Lerngelegenheiten und den empirischen Ergebnissen dar. Weiterhin wird das konkrete universitäre Lehr-Lernarrangement, welches anhand des *erweiterten Fachwissens im schulischen Kontext* und einschlägiger Theorien entwickelt wurde, vorgestellt und begründet. Im Zuge dessen werden auch die konstitutiven Design-Prinzipien dargestellt. Das Seminar „Aufarbeitung universitären Fachwissens für schulische Kontexte“ wurde additiv und fakultativ im Bachelor-Lehramtsstudium Biologie angeboten. In drei Zyklen wurde es systematisch durch mehrere Design-Experimente beforscht und iterativ weiterentwickelt.

Der empirische Teil der Arbeit wird durch die Darstellung des Studiendesigns, der Design-Experimente und der Methoden zur Auswertung der qualitativen Daten eingeleitet. Anhand fallübergreifender Analysen ( $n = 29$ ) wird im empirischen Teil aufgezeigt, welche Einstellungen zum Lehramtsstudium in der Stichprobe bestehen. Innerhalb konkreter Einzelfallanalysen ( $n = 6$ ) wird anhand von Lernpfaden dargestellt, wie sich fachliche Konzepte entwickelt haben. Bei der Beschreibung wird vor allem auf Schlüsselstellen und Hürden im Lernprozess fokussiert. Weiterhin wird innerhalb der Einzelfallbeschreibungen beleuchtet, wie das *erweiterte Fachwissen im schulischen Kontext* zur Bearbeitung der Lernaufgaben angewendet wurde. Daraus folgend werden die vorgenommenen Iterationen

für die einzelnen Zyklen und ebenfalls die iterative Entwicklung der Design-Prinzipien beschrieben.

Durch das qualitativ orientierte Forschungsdesign ist bereits die Ergebnisdarstellung durch Interpretation und Diskussion geprägt. Im Teil zur Ergebnisdiskussion dieser Arbeit wird sich deshalb einerseits auf fallübergreifende Aspekte zu Lernprozessen zum biologisch-fachwissenschaftlichen Gegenstand und andererseits auf ein ausgeweitetes Verständnis über das Modell des *erweiterten Fachwissens* fokussiert. Innerhalb der Methodendiskussion werden die methodischen Limitationen der Arbeit aufgezeigt sowie Ableitungen für die Methodologie herausgestellt. Abschließend wird der Beitrag und Wert dieser Arbeit für Forschung und Lehre innerhalb der Lehrkräftebildung eingeordnet.

# Theoretischer Hintergrund

## 3 Modelle zur Professionalisierung

Ursprünglich galten als Professionen nur wenige prestigeträchtige Tätigkeiten, wie Juristen, Ärzte und Geistliche, die vor allem aufgrund der Herausforderung, die in den berufsspezifischen Aufgaben liegen, ausgeübt werden. Seit geraumer Zeit wird auch der Beruf der Lehrkraft als Profession bezeichnet, da die strikte Abgrenzung zwischen Professionen und bloßen Berufen durch einen immerwährenden Wandel der Struktur und des Status von Berufen bedeutungslos geworden ist (Terhart 2011). Dem erweiterten Verständnis über die Profession einer Lehrkraft wird sich theoretisch durch verschiedene Professionsmodelle genähert, die nicht primär für die Lehrkräfteprofessionalisierung entwickelt wurden.

Im *strukturtheoretischen Ansatz* wird davon ausgegangen, dass sich die beruflichen Anforderungen an Lehrkräfte in sogenannten Antinomien darstellen, d.h. eine in sich widersprüchliche Struktur aufweisen (Terhart 2011). Dies zeigt sich z.B. in der Sachantinomie, welche das Spannungsfeld zwischen wissenschaftlichen Wissen und den lebensweltlichen Vorstellungen der Schüler\*innen beschreibt (Rothland 2016). Die Fähigkeit, diese Antinomien handhaben zu können, macht die Professionalität der Lehrkraft aus. Berufliche Weiterentwicklung erfolgt in Form der Reflexion dieser Antinomien, wobei dieser Professionalisierung durch ebensolche, der Lehrkraft täglich begegnenden, Dilemmata Grenzen gesetzt sind (Oevermann 1996).

Der *berufsbiografische Ansatz* stellt die langfristige berufliche Entwicklung von Lehrkräften in den Mittelpunkt ihrer Betrachtung, wobei die Entwicklung der Professionalität durch den Einbezug des gesamten Lebenslaufs breiter kontextualisiert wird und individuelle Sichtweisen mit einfließen. Einerseits ergibt sich ein differenziertes Bild von Professionalität, was sich andererseits schwer in generalisierbare Aussagen fassen lässt. Auch die Verknüpfung mit normativen Aussagen über eine gelungene Professionalisierung erweist sich als problematisch (Terhart 2011).

Der *kompetenztheoretische Ansatz* hingegen geht davon aus, dass es Kompetenzen gibt, die zur Bewältigung der Aufgaben einer Lehrkraft notwendig sind. Die Kompetenzen haben wiederum einen Einfluss auf den Lernerfolg von Schüler\*innen, wobei dieser nicht deterministisch-kausal zu verstehen ist. Dieses Wissen und Können, welches erfolgreiches Lehrerhandeln ausmacht, ist prinzipiell erlernbar (Terhart 2011). Grundsätzlich geht mit diesem Ansatz die Annahme der Beforschbarkeit von dem Wissen und Können einer Lehrkraft und dem komplexen Handlungsfeld Unterricht einher. Aus dem besseren Verständnis über die Strukturen und den Reichtum professionellen Wissens ergeben sich Ansatzpunkte für Aus- und Weiterbildung (Bromme 1992). Diese Annahme stellt einen Grundpfeiler des universitären Lehramtsstudiums dar.

Aus letzterem Ansatz heraus wurden verschiedene Bemühungen aufgenommen, die notwendigen Kompetenzen von Lehrkräften zur Ausübung ihrer Profession zu beschreiben und empirisch messbar zu machen. Der Ansatz begründet sich, vor allem in Bezug auf die prinzipielle Erlernbarkeit von Kompetenzen, auch in Überlegungen zum *Expertenparadigma* (weitere Ausführungen folgendes Kapitel 4).

## 4 Paradigmen der Lehrkräftebildung

Die Ansichten darüber, was eine „gute“ Lehrkraft ausmache, lassen sich historisch und lernpsychologisch in verschiedenen Paradigmen beschreiben – dem *Persönlichkeits-Paradigma*, dem *Prozess-(Mediations-)Produkt-Paradigma* und dem *Experten-Paradigma*.

Tabelle 1 Übersicht zu pädagogisch-psychologischen Paradigmen in der Forschung zu Lehrkräften (Jahreszahlen in grober Näherung) (nach Krauss und Bruckmeier 2014, S. 242)

	Persönlichkeits-Paradigma	Prozess-Produkt-Paradigma	Prozess-Mediations-Produkt-Paradigma	Experten-Paradigma
<b>Zeit</b>	Ca. 1900-1960	Ca. 1960 (bis heute)	Ca. 1975 (bis heute)	Ca. 1985 (bis heute)
<b>Beeinflusst durch</b>	Eigenschaftsorientierte Persönlichkeitstheorien (Persönlichkeit der Lehrkraft im Vordergrund)	Behaviorismus (Verhalten der Lehrkraft)	Kognitiv erweiterter Behaviorismus	Kognitivismus (Fokus auf Denken und Wissen der Lehrkraft)
<b>Untersuchungsmethoden</b>	Test und Fragebögen, Persönlichkeitstests	Unterrichtsbeobachtungen (später auch mit Videotechnik) mit Lehrkraft im Fokus	Unterrichtsbeobachtungen und Schülerfragebögen	Integration bisheriger Forschungsmethoden und Professionswissenstests für Lehrkräfte
<b>Anmerkungen</b>	Nur wenige, oft schwache Zusammenhänge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erste robuste und stabile Befunde</li> <li>• Unterricht wird „messbar“</li> </ul>	Zusätzlich Schülerkognition, -motivation, -emotion als Mediatoren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systematische Sicht</li> <li>• Schwerpunkt wieder auf Lehrkraft</li> <li>• Professionswissen wird entscheidend</li> </ul>

Im *Persönlichkeitsparadigma* wird davon ausgegangen, dass persönliche Eigenschaften von Lehrkräften (z.B. Geduld, Extraversion oder emotionale Stabilität) den Erfolg oder Misserfolg einer Lehrkraft im unterrichtlichen Handeln determinieren. Letztendlich bestand die Schwierigkeit dieses Ansatzes darin, die Persönlichkeitseigenschaft auf die konkrete Interaktion zwischen Lehrkraft und Lernenden zu beziehen. Häufig ließen sich daher nur schwache oder triviale Zusammenhänge aufzeigen (Krauss und Bruckmeier 2014).

Innerhalb des *Prozess-Produkt-Paradigmas* wurde das Augenmerk von den Persönlichkeitseigenschaften der Lehrkraft auf das Handeln ebendieser gelegt. Erfolgreiches Lehrer\*innenhandeln wurde über den Erfolg von Schüler\*innen in Schulleistungstest gemessen (Medley 1979, zitiert nach Bromme 1992). Durch die sehr punktuelle Betrachtung einiger Handlungsweisen blieb, laut Blömeke (2009), allerdings die Komplexität, die Wechselwirkungen, aber auch die Kompensierbarkeit der Dimensionen des Lehrer\*innenhandelns unberücksichtigt. Das Prozess-Produkt-Paradigma gilt jedoch heute keineswegs als abgelöst. Mit dem *Prozess-Mediations-Produkt-Modell* (z.B. Helmke 2003) wird der Ansatz aus kognitionspsychologischer Sicht weitergeführt. Die Informationsverarbeitungsprozesse der Lernenden werden hier als Schlüsselmerkmale des Lernens berücksichtigt. Im Zuge dessen fanden vor allem Videostudien große Zustimmung.

Annahmen, die dem *Expertenparadigma* zugrunde liegen, haben einen fundamentalen Einfluss auf die Ausgestaltung und auf die Beforschung der Lehrkräftebildung. Theoretisch fußt dieser Ansatz auf Expertenstudien, die nicht auf Lehrkräfte fokussierten. Unter anderem zeigten Glaser und Bassok (1989) und Chi et al. (1988) auf, wie sich Wissensstrukturen von Experten und Novizen unterscheiden - sowohl quantitativ, als auch qualitativ. Quantitativ weisen Experten innerhalb ihres Expertisebereichs mehr Begriffs-, Konzept- und Zusammenhangswissen auf. Qualitativ ist die Wissensstruktur auch effizienter

organisiert. Bei der Aufnahme von vielen Informationen werden Chunks (bedeutungshaltige Muster) gebildet, die langfristig leichter abgerufen werden können (Chase und Simon 1973). Experten sind außerdem sehr schnell in der Aufnahme und Verarbeitung neuer Informationen und benötigen weniger Zeit als Novizen, um Schlussfolgerungen zur Problemlösung daraus ziehen (Glaser und Bassok 1989; Chi et al. 1988). Es wird angenommen, dass expertenhafte Wissensstrukturen erlernbar sind – Dies stellt den eklatantesten Unterschied zum Persönlichkeitsparadigma dar, in welchem (wie oben dargestellt) angenommen wird, dass Persönlichkeitseigenschaften oder persönliche Verhaltensweisen eine erfolgreiche Lehrkraft ausmachen.

Berufliche Problemsituationen von Lehrkräften sind hoch komplex, da eine Vielzahl von Einflussgrößen auf sie einwirken, wie beispielsweise Angebots-Nutzungs-Modelle aufzeigen (Helmke 2015; Seidel und Reiss 2014). Ziele können in Unterrichtssituationen auf unterschiedlichsten Wegen verfolgt werden. Bromme (1992) spricht hierbei von *semantisch reichhaltigen Aufgaben* die an die Lehrkraft gestellt werden. Der Expertenansatz geht davon aus, dass unterschiedliche Fähigkeiten von Lehrkräften, diese semantisch reichhaltigen Aufgaben zu lösen, vor allem auf unterschiedliches Wissen zurückzuführen sind. Expertenlehrkräfte verfügen über abstraktere Begriffe und die Kohärenz des Wissens ist stärker ausgeprägt. Außerdem verfügen sie über eine fallspezifische Organisation ihres Wissens und eine Wissensstruktur, die deklaratives und prozeduralisiertes Wissen verknüpft. Eine Übersicht zu Merkmalen des Expertenwissens bei Lehrkräften findet sich in Tabelle 2.

Tabelle 2 Merkmale des Expertenwissens (nach Bromme 1992)

Merkmale des Expertenwissens	Beschreibung im Unterschied zu Novizen
<b>Inhalt des Wissens</b>	Inhalte werden anders strukturiert, Kategorien werden gebildet
<b>Quantitative Wissensunterschiede</b>	mehr Wissen, vor allem bezüglich situationsbezogener Informationen („Fallinventar“)
<b>sachliche Richtigkeit</b>	fachlich angemessene Aufbereitung der Sachstruktur in Abwägung mit Zielen und Situationen
<b>Abstraktere Begriffe</b>	Weglassen von Details
<b>Kohärenz des Wissens</b>	Vereinbarkeit von verschiedenen Denkstilen der Fachkulturen, keine umfassende Kohärenz aller Kategorien des professionellen Wissens, eher Modularität des Wissens
<b>Fallspezifische Organisation des Wissens</b>	Darin steht Modularität einerseits und Kohärenz nicht mehr im Widerspruch, weil sie sich im konsistenten Bild einen Falls zusammenfinden
<b>Prozeduralisierung des Wissens</b>	Veränderung des bewusst Gelerntens durch Übung

Hinsichtlich der Kognitionsforschung verfolgt der Expertenansatz kontrastive Forschungsdesigns. Die untersuchten Gruppen unterscheiden sich (oft einzig und allein) in der Variable des Expertenstatus. Der interessierende Zusammenhang ist dabei der zwischen dem Wissen und der Leistung der Lehrkraft (Bromme 1992).

In Untersuchungen zur Unterrichtsplanung von erfahrenen Lehrkräften hat Bromme (1992) allerdings darüber hinaus festgestellt, dass diese Lehrkräfte keines der didaktischen Modelle anwendeten, welche sie in der Lehramtsausbildung kennengelernt haben. Dementsprechend wurde die Unterrichtsplanung von ihm als Problemlöseprozess



beschrieben, bei dem Informationen in Sinne der eigenen fachlichen und fachdidaktischen Vorstellungen bewertet werden.

In einer Studie von Berliner (2001) zeigte sich, dass Lehrkräfte mit hoher Expertise zur Bewertung von Unterrichtssituationen übergeordnete Wissensschemata nutzen und somit in der Lage waren den Unterricht als Gesamtgefüge zu beurteilen. Anfänger konzentrierten sich in ihrer Beschreibung eher auf Einzelereignisse.

Das in den meisten Studien rekonstruierte Wissensbild von Experten wurde auf den Grad der Annäherung an einen kohärenten Kanon wissenschaftlichen Fachwissens hin untersucht. Bromme (1992) stellt die Überlegung an, dass eventuell auch die qualitativen Abweichungen von einem strikten Wissenskanon die Besonderheiten des Expertenwissens ausmachen und nennt als Beispiel die fallspezifische Integration des Wissens verschiedener disziplinärer Herkunft. In didaktischen Kontexten würde man hier von der Kompetenz, eine horizontale Vernetzung (BLK 1997) vorzunehmen, sprechen. Bromme (1992) gibt zu bedenken, dass in Abgrenzung zum wissenschaftlichen Wissen nicht nur die bloßen Kenntnisse der Lehrkraft über den zu vermittelnden Inhalt, sondern auch die bewertenden Auffassungen über die Lehr- und Lernbarkeit der Unterrichtsinhalte und ihre Beziehung zu anderen Schulfächern und zur Lebenspraxis eine hohe Bedeutung für das Unterrichtshandeln aufweisen.

Unklarheit herrscht allerdings noch immer darüber, welche Maßnahmen bei der Entwicklung von Expertise unterstützend wirken. Lehrkräfte mit hoher Expertise haben sich meist 10-12 Jahre intensiv mit ihrem Arbeitsfeld auseinandergesetzt. Genauere Kenntnis über diese intensive Auseinandersetzung ermöglicht im Idealfall auch eine Beantwortung der Frage durch welche Lehr-Lernarrangements diese Expertise gefördert werden kann (Seidel und Reiss 2014).

#### **Zusammenfassung, Desiderat und Implikation für die Lehre an Hochschulen**

Der kompetenztheoretische Ansatz stellt einen Grundpfeiler der universitären Lehrkräftebildung dar, weil die prinzipielle Annahme zu Grunde liegt, dass Kompetenzen erlernbar, aber auch beobachtbar sind. Aus dem besseren Verständnis über die Strukturen und den Reichtum professionellen Wissens ergeben sich Ansatzpunkte für Aus- und Weiterbildung (Bromme 1992).

Hinsichtlich der Forschung zum Expertenwissen von Lehrkräften können Folgerungen für das Studium angehender Lehrkräfte abgeleitet werden. Zu Klärung der Ausgangssituation ist allerdings auch die Frage, wie Novizen (angehende Lehrkräfte) mit Teilaufgaben zur fachlichen Unterrichtsplanung umgehen, relevant. Ein Vergleich mit Modellen, die auf (vermuteten) Handlungsmustern und Wissensstrukturen von Experten basieren, macht es möglich, Handlungsbedarf hinsichtlich der Fördermaßnahmen für Novizen abzuleiten.

## 5 Professionswissen von (angehenden) Lehrkräften

### 5.1 Modellierungen des Professionswissens

Seitdem Lee S. Shulman die Rolle des Wissens beim Unterrichten genauer untersuchte, fand die Thematik international verstärkte Resonanz. Das Professionswissen angehender Lehrkräfte wird heute in zahlreichen Studien in verschiedene Wissensbereiche differenziert, die ihren Ursprung in den theoretischen Beschreibungen von Shulman (1986, 1987) haben.

Aus dem Desiderat heraus, dass es eine unzureichende Diskussion über die *inhaltliche* Ausgestaltung von Unterricht („missing paradigm“) gab, beschrieb Shulman (1986) zunächst folgende Kategorien der (inhaltlichen) Wissensbasis für das *content knowledge for teaching: subject matter content knowledge, pedagogical content knowledge, curricular knowledge*. In einem, folgenden Aufsatz (1987) differenzierte und ergänzte er die Kategorien in der Form, wie sie in der folgenden Tabelle 3 aufgeführt sind, wobei Shulman nicht auf jede Kategorie beschreibend eingeht.

Tabelle 3 Kategorien der inhaltlichen Wissensbasis (*categories of knowledge-base*) einer Lehrkraft nach Shulman (1987)

Kategorien der inhaltlichen Wissensbasis	Beschreibung
<b>content knowledge</b>	Quellen für dieses Wissen: gesammelte Literatur, Inhalte der zugehörigen Disziplin und philosophische und historische Hintergründe über die Natur der Disziplin, <i>substantive</i> und <i>syntactic knowledge</i> ,
<b>general pedagogical knowledge</b>	Weit gefasste Prinzipien und Strategien des Klassenmanagements
<b>curricular knowledge</b>	Verständnis über Lehr-Programme und Materialien
<b>pedagogical content knowledge</b>	Zusammenführung von fachlichen Inhalten und Pädagogik, die sich in einer speziellen Form des professionellen Verständnisses offenbart – steht für Shulman im besonderen Fokus
<b>knowledge of learners and their characteristics</b>	
<b>knowledge of educational contexts</b>	z.B. Wissen über Gruppenprozesse, Schulorganisation, kulturelle und regionale Besonderheiten
<b>knowledge of educational ends, purposes and values and their philosophical and historical grounds</b>	

Im Folgenden wird sich vor allem auf das von Shulman beschriebene *content knowledge* und seine Abgrenzung zum *pedagogical content knowledge* und *curricular knowledge* bezogen.

Shulman leitet seine Ausführungen zum *content knowledge* von Schwab (1964, 1978) ab: Dieser unterteilte die Strukturen von Fachdisziplinen in einerseits *substantive structures* und andererseits in *syntactic structures*. Die *substantive structures* beschreiben Konzepte, Prinzipien und Fakten der Disziplin und ihre Zusammenhänge untereinander. Die *syntactic structures* beschreiben die vielfältigen Weisen der Rechtfertigung von Wissen innerhalb eines „*canon of evidence and proof*“ (Schwab 1964, S. 14). Von der von Schwab (1964) so bezeichneten *structure of the discipline*, das heißt dem gesammelten Wissen in und über

eine Disziplin, welches sich nicht nur in einer Person korporiert, leitet Shulman die Struktur des Wissens von Lehrkräften in und über die Disziplin ab.

*„Teachers must not only be capable of defining for students the accepted truth in a domain. They must also be able to explain why a particular proposition is deemed warranted, why it is worth knowing and how it relates to other propositions. [...] moreover, we expect the teacher to understand why a given topic is particularly central to a discipline whereas another may be somewhat peripheral.”*

(Shulman 1986, S. 9)

In Bezugnahme auf den letzten Teil des Zitats lässt sich ergänzend fragen, ob Lehrkräfte nicht nur in der Lage sein sollten, die Exemplarität eines gegebenen fachlichen Inhaltes zu bewerten, sondern auch in der Lage sein sollten, geeignete exemplarische Inhalte begründet auszuwählen. Hier zeigt sich auch die Verbindung zum curricularen Wissen der Lehrkraft.

Shulman stellt das *pedagogical content knowledge* (PCK, dt. fachdidaktisches Wissen) als Kategorie von besonderem Interesse heraus, weil es ihm nach die Berufsspezifität des gesamten Wissens der Lehrkraft ausmacht. Bezüglich dessen stellt Shulman folgendes heraus:

*„[PCK is a] particular form of content knowledge that embodies the aspects of content most germane to its teachability. [...] [It] includes an understanding of what makes the learning of specific topics easy or difficult.”*

(Shulman 1986, S. 9)

Hier betont er auch die Kenntnis über (vorunterrichtliche) Schülervorstellungen und die Kenntnis über Strategien von Lehrkräften diese Vorstellungen an wissenschaftliche Vorstellungen anzunähern.

Das *curricular knowledge* baut auf das fachdidaktische Wissen auf. Es wird erwartet, dass Lehrkräfte ein Verständnis über curriculare Alternativen, der jeweiligen Instruktion entsprechend, entwickeln. Auch hier werden Fähigkeiten zur horizontalen und vertikalen Vernetzung gefordert (Shulman 1986).

In seinem *Model of Pedagogical Reasoning and Action* (s. Abbildung 2) geht das *content knowledge* vor allem im Akt der *comprehension* und in Teilen in der *transformation* zu Beginn eines Lehr-Lernprozesses auf. Die *comprehension* erfordert von der Lehrkraft einen kritischen Vergleich von möglichen zu unterrichtenden Inhalten, die tiefgehend verstanden und in Beziehung zu anderen (z.T. auch fachübergreifenden) Inhalten gesetzt werden sollen. Innerhalb der *transformation* sollen Lehrkräfte u.a. in der Lage sein, Texte kritisch zu analysieren, Inhalte zu strukturieren und Materialien adressaten- und sachgerecht zu modifizieren, indem Analogien gezogen werden und Metaphern verwendet werden.

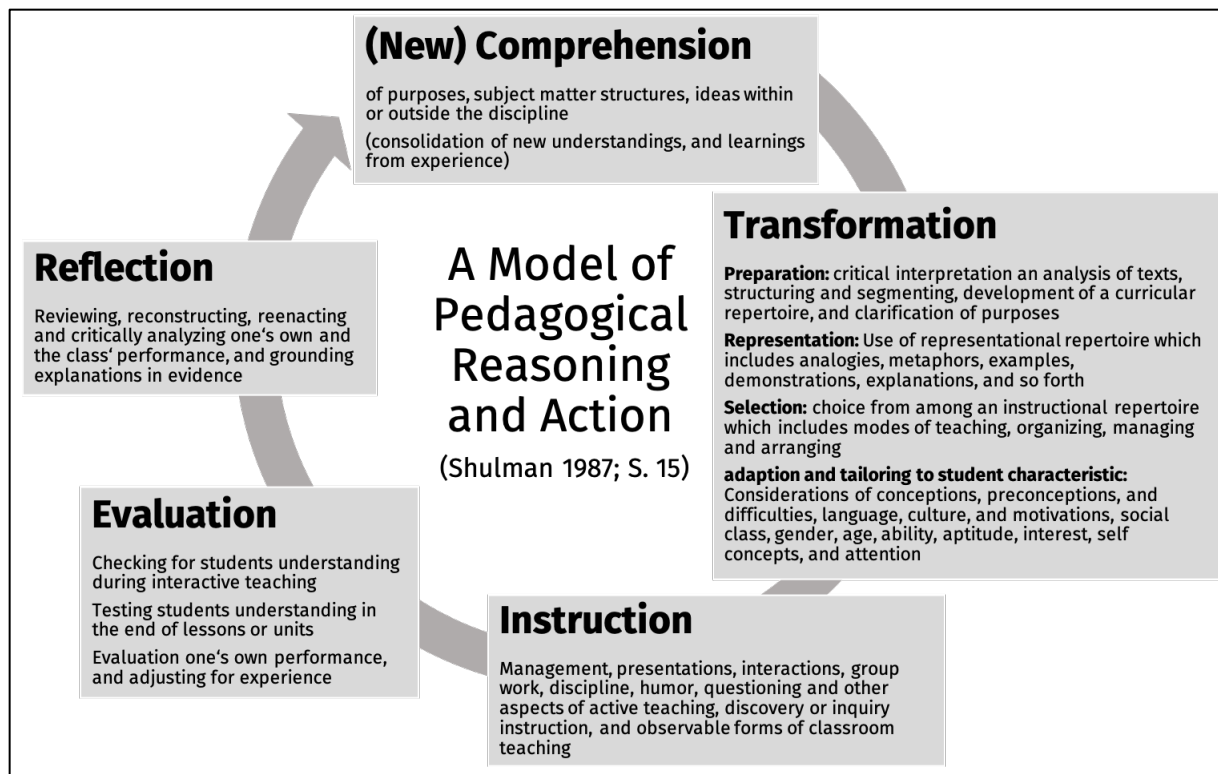


Abbildung 2 A Model of Pedagogical Reasoning and Action (nach Shulman, 1987, S. 15)

Shulman kritisierte bereits früh die starke Trennung von Fachwissenserwerb und Pädagogik in der Lehrkräftebildung. Von seinen Ausführungen leitet er daher Vorschläge für Prüfungen von fachlichen Inhalten von angehenden Lehrkräften ab: Laut ihm, sei es wichtig, Prüfungsschwerpunkte vor allem auf Folgendes zu legen:

*"[...] deep knowledge of the content and structures of the subject matter, the subject and the topic specific pedagogical knowledge associated with the subject matter and the curricular knowledge of the subject."*

(Shulman 1986, S. 10)

In Anlehnung an Shulman gab es zahlreiche Konzeptionen zur Ausdifferenzierung des (z.T. fachspezifischen) Professionswissen von Lehrkräften (u.a. Grossman 1990; Magnusson et al. 2005 (1999); Baumert und Kunter 2006; Gess-Newsome et al. 2015; Blömeke et al. 2015). Besonders die (im Vergleich zur ursprünglichen Differenzierung von Shulman sparsamere) Einteilung in die strukturbildenden Wissensdimensionen des *content knowledge* (CK), *pedagogical content knowledge* (PCK) und des *pedagogical knowledge* (PK) haben die Professionalisierungsforschung und die Lehrkräftebildung in Theorie und Praxis international geprägt.

Diese Modellierung des Professionswissen von Lehrkräften wurde auch in das Kompetenzmodell übernommen, welches der COACTIV-Studie (Baumert und Kunter 2006; Kunter et al. 2011) zugrunde liegt. Das Hauptziel der COACTIV-Studie war es, die Determinanten beruflicher Kompetenz auf der Basis empirischer Evidenz zu bestimmen. Ein bedeutender Grund zur Durchführung der Studie war, dass während der Durchführung der PISA-Studie 2000, die zum sogenannten „PISA-Schock“ führte, keine Daten über das Wissen und Handeln von Lehrkräften und deren Einfluss auf die Unterrichtsqualität erhoben wurden und dementsprechend keine Erklärung für das schlechte Abschneiden deutscher Schüler\*innen auf der Ebene des Unterrichts ausgemacht werden konnte. Folglich wurde

die COACTIV-Studie konzeptuell und technisch in die nationale Ergänzung von PISA 2003/2004 für das Fach Mathematik eingebunden. Neben dem Professionswissen sind in diesem Modell auch professionelle Werthaltungen, Überzeugungen und Ziele, motivationale Orientierungen sowie Fähigkeiten der professionellen Selbstregulation maßgeblich für professionelles Handeln (s. Abbildung 3). (Kunter et al. 2011)

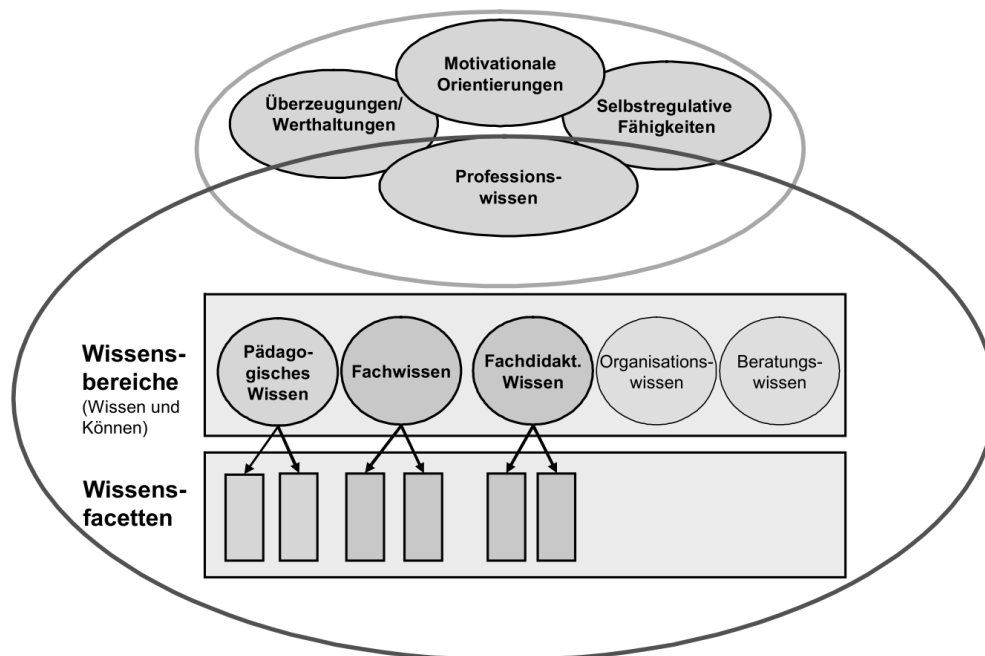


Abbildung 3 Modell der professionellen Handlungskompetenz (Baumert und Kunter 2006, S. 482)

Das Professionswissen wird im Modell der professionellen Handlungskompetenz durch die Wissensbereiche Fachwissen, fachdidaktisches Wissen, pädagogisches Wissen, Organisations- und Beratungswissen gegliedert. Das Fachwissen wird, da es sich um eine Studie mit Mathematiklehrkräften handelt, durch die Wissensfacette „Tieferes Verständnis der Schulmathematik“ verdeutlicht (s. Kapitel 5.5.1). Das fachdidaktische Wissen umfasst drei Dimensionen: Das *Erklärungswissen* (Wissen über multiple Repräsentations- und Erklärungsmöglichkeiten), das *Wissen über das Mathematische Denken der Schüler* (insbesondere Schülervorstellungen und typische Schülerfehler) und das *Wissen über mathematische Aufgaben* (das didaktische und diagnostische Potenzial, die kognitiven Anforderungen und impliziten Wissensvoraussetzungen betreffend). Innerhalb des Pädagogischen Wissens wird das *Wissen um Leistungsbeurteilung*, das *Wissen über Lernprozesse* und das *Wissen über effektive Klassenführung* unterschieden. Da das pädagogische Wissen, ebenso wie das Beratungs- und Organisationswissen nicht im Fokus dieser Arbeit steht, wird an dieser Stelle von einer näheren Beleuchtung abgesehen.

Die Hauptergebnisse der COACTIV-Studie sind die Folgenden: Gymnasiallehrkräfte erreichen deutlich höhere Werte im Fach- und fachdidaktischen Wissen als Lehrkräfte der anderen Schulformen. Der Wissensstand in beiden Facetten hängt mehr mit der Art der Ausbildung als mit der Berufserfahrung zusammen. Dies spricht für die Bedeutung der ersten Phase der Lehrer\*innenbildung für die Ausbildung von Fachwissen und fachdidaktischen Wissen. Für die berufsbezogene Motivation und ihre selbstregulativen Fähigkeiten konnte jedoch keine Korrelation mit dem Professionswissen gefunden werden. Zentral war die Frage nach den Auswirkungen des Professionswissens von Lehrkräften auf die Unterrichtsgestaltung. Hier zeigt sich vor allem die hohe Bedeutung des fachdidaktischen Wissens für die die

Durchführung eines kognitiv aktivierenden und individuell unterstützenden Unterrichts. Unterricht von Lehrkräften mit einem hohen fachdidaktischen Wissen wurde von Lernenden als herausfordernder betrachtet. Für Gymnasiallehrkräfte konnte ein hoher Zusammenhang zwischen Fachwissen und fachdidaktischen Wissen gefunden werden. Das Fachwissen von Lehrkräften kann demnach als Bedingung für das fachdidaktische Wissen verstanden werden.

Weiterführend zu den Ergebnissen von COACTIV kann das Projekt FALKO der Universität Regensburg betrachtet werden. Hierbei wird das Kompetenzmodell von COACTIV auf andere Fächer übertragen. Die Operationalisierung des Fachwissens und des fachdidaktischen Wissens wurde an die Testkonstruktion von COACTIV angepasst. Insofern konnte der Frage nachgegangen werden, ob die überraschenden Ergebnisse aus COACTIV, wie z.B. die großen Schulformunterschiede sowie der fehlende Zusammenhang mit der Berufserfahrung, mathematikspezifisch sind (Krauss et al. 2017). Dass dem nicht so ist, sondern dass sich die Schulformunterschiede über viele Fächer hinweg erstrecken, konnte das Forschungsprojekt FALKO nachweisen. Ebenfalls konnte nachgewiesen werden, dass Lehrkräfte über mehr Fachwissen verfügen als Lehramtsstudierende, wobei das Fachwissen als schulnahes Fachwissen operationalisiert wurde. (Lindl und Krauss 2017)

Auch für die Biologie konnte Großschedl et al. (2014) keinen Zusammenhang zwischen Berufserfahrungen und Fachwissen sowie fachdidaktischem Wissen nachweisen. Dies lässt die Interpretation zu, dass sich diese Kompetenzbereiche des Professionswissens vor allem in der Ausbildung und/oder den ersten Berufsjahren (Blömeke 2009) entwickeln. Es wird angenommen, dass zumindest die operative Gestalt von professionellem Wissen erst durch praktische Erfahrungen vollständig erreicht wird (Neuweg 2006; Krauss et al. 2017). Dennoch wird durch die in der Ausbildung erworbene konzeptuelle Wissensbasis, die nicht durch praktische Erfahrung zu ersetzen ist, die Wahrnehmung von unterrichtlichen Situationen vorstrukturiert (Bromme 1997).

### **Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Die Überlegungen von Shulman (1986, 1987) haben sich als wegweisend für die Professionalisierungsforschung herausgestellt. Die konzise Unterteilung des Professionswissens in Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und pädagogisches Wissen liegt auch dieser Arbeit zu Grunde.

Ein für diese Arbeit besonders relevantes interpretatives Ergebnis der COACTIV-Studie ist, dass die Breite und Tiefe des *konzeptuellen Fachverständnisses* von Lehrkräften das im Unterricht verfügbare fachdidaktische Handlungsrepertoire beeinflusst (Baumert und Kunter 2006). Ergänzende qualitative Studien legten nahe, dass ein Mangel an Fachwissen die Entwicklungsmöglichkeit fachdidaktischer Ressourcen limitiere (Baumert und Kunter 2011). Der Wissensstand sowohl im Fachwissen als auch im fachdidaktischen Wissen hängt außerdem mehr mit der Art der Ausbildung als mit der Berufserfahrung zusammen. Dies ist sicherlich auch der Art der Operationalisierung der Wissensbereiche geschuldet, die sehr ausbildungsnah erfolgte. Insgesamt spricht es allerdings der ersten Phase der Lehrer\*innenbildung eine hohe Bedeutung für die Ausbildung von Fachwissen und fachdidaktischen Wissen zu. Die Frage danach, wie und wann professionelles Wissen erworben wird, ist zentral für die Legitimation des gesamten Ausbildungssystems.

## 5.2 Fachwissen von (angehenden) Lehrkräften

Das *erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext*, welches dieser Arbeit zugrunde liegt, wurde ebenfalls auf Grundlage von Theorien zu Wissensrepräsentationen entwickelt. Die Zusammenhänge dieser theoretischen Ansätze können in Tabelle 4 nachvollzogen werden.

Eine dieser Wissensrepräsentationen basiert auf der Lernzieltaxonomie von Anderson et al. (2001), in Anlehnung an Bloom (1956). In dieser werden vier Wissenstypen unterschieden, die sich auf einem Kontinuum vom Konkreten zum Abstrakten bewegen. *Factual knowledge* beschreibt ein Wissen über konkrete, isolierte Inhaltselemente, wie Begriffe. Beim *conceptual knowledge* werden Fakten nun innerhalb von Klassifikationen, Prinzipien, Generalisierungen, Theorien, Modellen und Strukturen in einen Zusammenhang gebracht. Synonym zum *conceptual knowledge*, wird der Begriff *structural knowledge* (Jonassen et al. 2012) gebraucht. Nach Meinung mehrerer Autoren umfassen deklarative Wissensstrukturen sowohl Fakten- als auch konzeptuelles Wissen (Mitchell und Chi 1984; deJong und Ferguson-Hessler 1996; Anderson et al. 2001). Mit dem Begriff deklaratives Wissen wird Wissen über Fakten, Objekte, Ereignisse, Konzepte oder Prinzipien sowie über deren Beziehungen und Zusammenhänge zueinander eingeschlossen. Das *procedural knowledge* ist im Gegensatz dazu ein Handlungswissen, welches Wissen über Abläufe, Techniken und Methoden, aber auch Beurteilungskriterien enthält. Es kann zum Teil schwieriger verbalisiert werden als deklaratives Wissen. *Metacognitive knowledge* beschreibt sowohl das Wissen über die Struktur von Wissen im Allgemeinen als auch die Fähigkeit zur Reflexion des eigenen Wissens. (Anderson et al. 2001)

Auch Shulman (1986) schlägt eine Form der Differenzierung von spezifischen Wissensrepräsentationen („*forms of knowledge*“) vor: Er teilt das Wissen von Lehrkräften in *propositional knowledge*, *case knowledge* und *strategic knowledge* ein. Das *propositional knowledge* manifestiert sich in Prinzipien, Maximen und Normen (Shulman 1986). Ein Beispiel aus dem Klassenmanagement könnte sein: ‚Erläutern Sie erst die Aufgabenstellung, bevor Sie das Material austeilten‘. Das *case knowledge* ist die Kenntnis von spezifischen unterrichtsrelevanten Fällen, die einerseits durch eigene Erfahrungen, andererseits durch Beobachtung gewonnen wurden und die das Handlungsrepertoire einer Lehrkraft beeinflussen (Shulman 1986). In dem zuvor gegebenen Beispiel wäre dies die Beobachtung, dass das vorschnelle Austeilen des Materials regelmäßig zu Unruhe im Klassenraum führte, wodurch den Ausführungen zur Aufgabenstellung nicht mehr die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Das *strategic knowledge* tritt zutage, sobald in spezifischen Situationen verschiedene Prinzipien nicht miteinander vereinbar sind und keine einfache Lösung greift (Shulman 1986). Um das oben genannte Beispiel weiterzuführen: Es kann eine Situation auftauchen, in der es sinnvoll ist, das Material vor den Ausführungen zur Aufgabenstellung auszugeben. Z.B., wenn Schüler\*innen dieses zur Verdeutlichung, oder zum Verständnis ebendieser Aufgabenstellung benötigen. Das *strategic knowledge* befähigt die Lehrkraft zum flexiblen Umgang mit dem *propositional* und dem *case knowledge*. In diesem Sinne ist es nicht gleichzusetzen mit dem *strategic knowledge* von Anderson et al. (2001). Dieses wird innerhalb ihres *metacognitive knowledge* als „[k]nowledge of outlining as a means of capturing the structure of a unit of subject matter in a text book, knowledge of the use of heuristics“ (Anderson et al. 2001, S. 29) beschrieben. Shulman (1986) nennt in seiner Beschreibung der Wissensrepräsentationen vor allem Beispiele aus der Dimension des

fachdidaktischen Wissens. Daher ist nicht eindeutig klar, inwiefern diese „Forms of knowledge“ für ihn auch für das Fachwissen einer Lehrkraft gelten.

Speziell im Hinblick auf das Wissen von Studienabsolventinnen und -absolventen im Lehramt in Deutschland werden innerhalb der „Ländergemeinsamen inhaltlichen Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung“ deklarative Wissensstrukturen einerseits als *Verfügungswissen* („solides und strukturiertes Fachwissen [...] zu den grundlegenden Gebieten ihrer Fächer“) andererseits als *Orientierungswissen* („Überblickswissen [...] über den Zugang zu den aktuellen grundlegenden Fragestellungen ihrer Fächer“) beschrieben (KMK 2008, S. 3). Das *Metawissen* wird als „reflektiertes Wissen“ von Studienabsolventinnen und -absolventen „über ihre Fächer“ (KMK 2008, S. 3) definiert. Eine Übersicht über die die Zusammenhänge der hier beschriebenen Wissensrepräsentationen und den Facetten des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* bietet die Tabelle 4 (Beschreibung des Modells ab Kapitel 6).

Tabelle 4 Übersicht über die dieser Arbeit zugrunde liegenden Ausarbeitungen zu Wissensrepräsentationen

Knowledge dimensions (Anderson et al. 2001)	Wissensarten (deJong und Ferguson-Hessler 1996)	Structure of the discipline (Schwab 1973)	forms of knowledge (Shulman)	Fachbezogenen Kompetenzen künftiger Lehrerinnen und Lehrer (KMK 2008)	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext
	Situational knowledge				
Factual Knowledge	Conceptual knowledge	Substantive structure	Propositional knowledge	Verfügungswissen	Wissen über Konzepte und ihre Anwendung im Fach  Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren  Wissen über Theorien und Begriffe
Conceptual knowledge				Orientierungswissen	
Procedural knowledge	Procedural knowledge	Syntactic structure	Case knowledge	(Wissen über Erkenntnis- und Arbeitsmethoden)	Wissen über Erkenntnismethoden
Metakognitive knowledge	Strategic or metacognitive knowledge		Strategic knowledge	Metawissen	Wissen über die Disziplin  Beurteilung fachlicher Theorien und Begriffen

In der zugrundeliegenden Studie *dieser* Arbeit interessieren vor allem die deklarativen Wissensstrukturen und hierin insbesondere das konzeptuelle Wissen, sowie es in den Taxonomien von Anderson et al. (2001) und deJong und Ferguson-Hessler (1996) beschrieben wurde. Die Erhebung und Förderung des konzeptuellen Wissens, erfordert sowohl inhaltlich als auch methodisch besondere Herangehensweisen. So wird beispielsweise inhaltlich vermehrt mit Prinzipien, Konzepten und Modellen etc. anstatt mit isolierten Fakten gearbeitet. Konzepte und ihre Bedeutung werden dabei expliziert. Methodisch erfordert die Erfassung konzeptueller Wissensstrukturen und deren



Entwicklung besondere Instrumente, z. B. die Visualisierung mit Hilfe von Concept Maps (s. Kapitel 12.2).

Auch in der Expertise-Forschung ist das konzeptuelle Wissen von besonderer Relevanz, wie bereits im Kapitel 4 angedeutet wurde. Mehrere Studien konnten zeigen, dass Experten einerseits über mehr, andererseits aber auch über vernetztere Wissensbestände verfügen, als Novizen. Weiterhin zeigt sich auch, dass Experten ihr Wissen eher in übergeordneten Konzepten statt in einzelnen Fakten repräsentieren (Bromme 1992). Dies zeigt z.B. die Studie zum Problemlösen von Schoenfeld und Herrmann (1982): Studienanfänger und Doktoranden hatten in dieser Studie unterschiedliche Konzepte der Natur: Anfänger ordneten nach Oberflächenmerkmalen, Experten gruppieren nach Prinzipien. Ähnliches zeigt sich auch in einer Studie mit Lehrkräften von Leinhardt und Greeno (1986), wonach Experten-Lehrkräfte über allgemeinere Begriffe und umfassendere Bedeutungseinheiten („Chunks“) verfügen als Anfänger.

Bezüglich des Metawissens konnte González Weil (2006) einen positiven Zusammenhang zwischen dem Metakognitionsniveau, d.h. der Fähigkeit den eigenen Denkprozess zu reflektieren, und dem vollzogenen Konzeptwechsel bei Schüler\*innen im zellbiologischen Unterricht feststellen. Im Sinne dessen kann auch angenommen werden, dass Studierende mit einem höheren Metakognitionsniveau in der Lage sind, ihre Vorstellungen kritischer zu reflektieren und eher eine Bereitschaft für einen Konzeptwechsel aufweisen.

Einerseits gilt Wissen als Grundlage von Können, andererseits sind wahrnehmende und handelnde Interaktionen mit der Umwelt Grundlage für den Aufbau von Wissen. Reflexion wirkt als Korrektiv für die Wissensbasis und die Effektivität des Handelns. Über Reflexion kann sich außerdem Können zu Wissen kristallisieren (Neuweg 2000). Die Zusammenhänge sind jedoch komplex. Dies zeigt sich zum Beispiel in Konzepten, wie dem *trägen Wissen* (Renkel 1996; Gruber und Renkl 2000; Gruber et al. 2000) und *impliziten Wissen* (Haider 2000; Neuweg 2015).

Das *träge Wissen* beschreibt den Zustand, dass umfangreiches theoretisches Wissen nicht in effektives Handeln übersetzt werden kann (Gruber et al. 2000). Renkel (1996) schlägt drei theoriebasierte Erklärungsansätze für dieses Phänomen vor: (1) In der *Metaprozesserklärung* wird davon ausgegangen, dass das Wissen zwar vorhanden ist, aber durch fehlende kognitive Steuerungsprozesse nicht angewendet werden kann. Die (2) *Strukturdefiziterklärung* geht davon aus, dass das Wissen in seiner Struktur defizitär angelegt ist, sodass eine Anwendung nicht möglich ist. In der (3) *Situiertes Wissen* steht die Grundannahme im Mittelpunkt, dass Wissen generell situativ gebunden ist. Wenn demnach beim Erwerb des Wissens keine Anwendungssituationen aufgezeigt werden, bleibt das Wissen träge. Ansätze zum *Situierten Lernen* können dem entgegenwirken, indem zum einen der situationale Kontext und zum anderen der kooperative Charakter des Informationsverarbeitungsprozess betont werden (Gruber et al. 2000).

Das Konzept des *impliziten Wissens* geht auf eine Klassifikation von Michael Polányi (1985 [1966]) zurück. Polányi setzt dem impliziten Wissen das explizite Wissen gegenüber, welches formalisiert ist und sich in abstrakte Form, wie Sprache bringen lässt. Das implizite Wissen ist hingegen der Teil des Wissens, der sich nicht (vollständig) in Worten ausdrücken lässt. Diese Überlegungen konstruieren sich aus der Erkenntnis, dass das beobachtete Handeln von Experten reicher ist, als die (erhobenen) kognitiven Strukturen, die diesem zugrunde liegen (Bromme 1992). Ebenso lieferte Ryle (2002 [1949]) maßgebliche konzeptuelle Arbeit

bezüglich des Konstrukts des impliziten Wissens. Er stellt heraus, dass Experten Sachverhalte besser einschätzen oder spezielle Handlungen besser ausführen können als Anfänger - Zum Großteil, ohne sagen zu können, woher, wie oder warum sie dazu in der Lage sind. Er unterscheidet auch im impliziten Wissen deklarative und prozedurale Wissensstrukturen.

Interessant scheint die Frage, ob man auch beim Fachwissen, was sich generell in Sprache fassen lässt, also explizierbar ist, auch von einem impliziten Wissensanteil ausgehen kann. Fenstermacher (1994) nimmt speziell für Lehrkräfte eine Unterscheidung zwischen theoretisch-formalem und praktischem Wissen und Können vor. Das fachliche Wissen wird größtenteils dem theoretisch formalen Wissen zugeordnet, was generell semantisch beschreibbar ist. Auch Blömeke (2009) beschreibt das gesamte professionelle Wissen als explizit. Die implizite Form handlungsleitender Kognition seien hingegen Unterrichtsskripts, welche mentale Repräsentationen zur Durchführung systematischer Handlungsabfolgen in speziellen Situationen mit spezieller Zielsetzung sind (Blömeke 2009). Andererseits geht man in der (Schüler-)Vorstellungsforschung davon aus, dass auch Lernendenvorstellungen aus einem impliziten Wissensanteil bestehen. Lernende sind in der Regel nicht in der Lage, ihre Vorstellungen exakt ihrem mentalen System entsprechend in semantischen Strukturen wiederzugeben (Born 2007; Combe und Gebhard 2012; Martens und Gresch 2018). Wenn man infolgedessen auch von fachlichen Studierendenvorstellungen, bzw. Vorstellungen von Lehrkräften ausgeht, ist auch hier von impliziten Wissensanteilen innerhalb dieser Vorstellungen auszugehen. Zusammenfassend scheint also der Einfluss des impliziten Wissens weder theoretisch noch empirisch abgesichert.

Da das Lehramtsstudium einen recht großen Anteil an Lerngelegenheiten zur Ausbildung des Fachwissens bereitstellt, muss kritisch hinterfragt werden, welchen Einfluss das Fachwissen auf die Qualität von Unterricht hat. Sowohl Begle (1972) als auch Eisenberg (1977) haben für ihre jeweiligen Studien gezeigt, dass kein direkter Zusammenhang zwischen dem Umfang des Fachwissens und dem Unterrichtserfolg (Kenntniszuwachs der Lernenden) besteht. Beide schlossen daraus, dass geringere Wissensbestände ausreichen, um erfolgreich unterrichten zu können. Folglich seien es andere Kompetenzen, die den Lehrkräften im Unterricht zu Erfolg verhelfen. Warum interessiert das Fachwissen als zu fördernder Wissensbereich dennoch? Weitere Forschungen zeichnen hierzu ein differenzierteres Bild. Die Ergebnisse der COACTIV-Studie zeigen für das Fach Mathematik ebenfalls keinen direkten Einfluss vom Fachwissen der Lehrkraft auf den Unterrichtserfolg. Allerdings gilt hier das Fachwissen als Prädiktor für das fachdidaktische Wissen, welches wiederum als Bedingungsfaktor für kognitive Aktivierung und individuelle Förderung im Unterricht bestimmt werden konnte (s. Ausführungen im Kapitel 5.1). Bezüglich des Einflusses von Fachwissen auf fachdidaktisches Wissen wirkt sich einerseits fehlendes Fachwissen signifikant auf das fachdidaktische Wissen aus. Bei besonders hohem Fachwissen wird allerdings ein „Deckeneffekt“ angenommen (Blömeke 2009).

Dem schwer zu fassenden Zusammenhang zwischen Wissen und Performanz nahmen sich auch weitere Studien an. Insgesamt konnten die Ergebnisse aus COACTIV für andere Fächer und für kleinere Stichproben bisher nicht reproduziert werden. Dies zeigt sich beispielsweise in einer Validierungsstudie von Vogelsang (2014) zu einem Instrument, um professionelle Handlungskompetenz zu erheben. Dabei fand er, wenig theoriekonform, mit einer kleineren Stichprobe (n = 22) keinen positiven Zusammenhang zwischen Fachwissen, fachdidaktischem Wissen und der Unterrichtsqualität. Für das Fachwissen stellte sich sogar

ein negativer Zusammenhang ein. Vogelsang (2014) interpretierte daraufhin, dass Studierende und Referendare mit einem hohen Fachwissen eventuell nicht in der Lage sein könnten, das Fachwissen adressatengemäß zu vermitteln. Weiterhin wurde auch die Operationalisierung des theoretischen Wissens im Instrument in Frage gestellt. Es bleibt unklar, ob es keinen Zusammenhang gibt, oder ob der Test als nicht valide angenommen werden muss. Es gibt bisher kein Modell des „Wirkungsmechanismus“ von Professionswissen auf Unterrichtshandeln auf Lernwirksamkeit.

Auch für das Fach Chemie zeigte sich im Rahmen der Operationalisierung im Projekt ProWiN kein direkter Zusammenhang zwischen dem fachdidaktischen Wissen bzw. dem Fachwissen und dem Umgang mit Experimenten im Unterricht. Für das Fachwissen konnte jedoch ein signifikanter Zusammenhang zur Offenheit des Experiments und Offenheit der Durchführung gefunden werden. (Strübe et al. 2017)

Für die Biologie fanden Mahler et al. (2017) einen positiven Zusammenhang zwischen dem fachdidaktischen Wissen der Lehrkraft und den Leistungen der Schüler\*innen. Ebenso konnten Förtsch et al. (2016) einen Zusammenhang vom fachdidaktischen Wissen einer Lehrkraft und der kognitiven Aktivierung als Merkmal der Unterrichtsqualität feststellen. Das Fachwissen hingegen zeigte in beiden Studien allerdings keinen Einfluss. Die sich in den benannten Studien nicht aufgezeigten Zusammenhänge von Fachwissen und Unterrichtsqualität könnten allerdings aufgrund der geringen Stichprobengröße unterschätzt werden.

### 5.3 Fachinteresse

Weiterhin ist für diese Arbeit das Konstrukt des Fachinteresses von Bedeutung, obgleich es sehr unterschiedliche Ergebnisse zum Zusammenhang von Fachinteresse einer Lehrkraft und effektivem Unterricht gibt.

Das Fachinteresse geht im Modell der professionellen Handlungskompetenz (Baumert und Kunter 2006), in Anlehnung an Shulman (1986), innerhalb des Bereichs der motivationalen Orientierung von Lehrkräften auf. Das Fachinteresse, auch als Fachenthusiasmus (Mahler et al. 2018; Kunter et al. 2011) bezeichnet, wird als Merkmal effektiver Lehrkräfte vermutet.

Petty und Cacioppo (1986; 1989) zeigen in ihrem Elaboration Likelihood Model auf, dass eine positive Erfahrung mit einem Gegenstand eine hohe Bereitschaft zur Person-Gegenstands-Auseinandersetzung eine stabile Einstellungsveränderung hervorbringen kann. Vogt (1998) zeigte einen Zusammenhang zwischen Interesse und Lernleistung, indem die untersuchten Probanden mit einem höheren Interesse eine erhöhte Bereitschaft zeigten, sich weiterhin mit dem Gegenstand auseinanderzusetzen. Innerhalb der COACTIV-Studie konnte zwar kein Zusammenhang zwischen dem Fachenthusiasmus der untersuchten Lehrkräfte und den Leistungen der Schüler\*innen festgestellt werden, wohl aber einen Zusammenhang zwischen dem Unterrichtsenthusiasmus der Lehrkräfte und der motivationalen Entwicklung der Schüler\*innen (Kunter 2011). Mahler et al. (2018) konnten hingegen innerhalb ihrer Studie zum Systemdenken von Schüler\*innen einen positiven Zusammenhang zwischen dem Fachenthusiasmus von Biologie-Lehrkräften und den Leistungen von Schüler\*innen ausmachen. Davon ausgehend schlagen die Autor\*innen vor, vermehrt aktuelle Themen der Biologie (z.B. Epigenetik) in die fachwissenschaftlichen Studienanteile aufzunehmen und die Relevanz für den Unterricht explizit zu machen. Mahler et al. (2018) nehmen an, dass

dies auch den Fachenthusiasmus angehender Lehrkräfte steigern würde. Festzuhalten ist hier allerdings auch der Zusammenhang von Fachinteresse mit dem erworbenen Fachwissen im Studium. Interessierte Studierende lesen beispielsweise häufiger in empfohlener Literatur, zeigen effektivere Lernprozesse und bauen ein umfangreicheres Wissensnetz auf (Trapmann 2008). Bei Lehramtsstudierenden der Mathematik lässt sich das Interesse an in der Schule vermittelten Inhalten und an der Universität vermittelten Inhalten trennen, wobei Lehramtsstudierende ein höheres Interesse an schulmathematischen Inhalten aufweisen (Loch 2015).

#### **5.4 Wahrgenommene Relevanz von universitär vermitteltem Wissen im Lehramtsstudium**

Die wahrgenommene Relevanz fachwissenschaftlicher Studieninhalte ist deshalb von Interesse, weil sie die intrinsische Motivation mit der studiert wird, augenscheinlich beeinflusst. Deci und Ryan (1985) stellten für die intrinsische Motivation heraus, dass Lernumgebungen erfolgsversprechend sind, wenn die Lernenden in ihrem Bedürfnis nach Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit unterstützt werden. Prenzel (1996) fügte den Bedingungen von Deci und Ryan (1985) u.a. das wahrgenommene Interesse bei den Lehrenden am Lerninhalt und die wahrgenommene Relevanz der zu lernenden Inhalte hinzu. Letzteres beschreibt er damit, dass Anwendungszusammenhänge des zu lernenden Wissens verdeutlicht und erfahrbar gemacht werden.

Die wahrgenommene Relevanz von Studieninhalten hat außerdem einen entscheidenden Einfluss auf Leistungen und ein mögliche Abbruchentscheidung für ein Studium (Heublein et al. 2017). Die als fehlend wahrgenommene Berufsrelevanz von Studieninhalten gilt im Lehramtsstudium als ein häufiger und zum Teil auch ausschlaggebender Abbruchgrund (u.a. Herfter et al. 2011; Radisch et al. 2018).

Das Panel zum Lehramtsstudium (PaLeA) (Kauper et al. 2012) gibt für die befragten Studierenden aller Fächer eine mittelmäßig wahrgenommene Relevanz der im Studium vermittelten fachwissenschaftlichen Inhalte für die Ausübung des späteren Berufs an ( $M=2,59$ , 4-stufige Likert-Skala).

Auch Vogelsang (2014) widmete sich u.a. dieser Frage. Er befragte dazu Lehramtsstudierende und Referendare des Faches Physik, wobei sich die Gruppen in ihrem Antwortverhalten nicht signifikant unterschieden. Das Konstrukt der Relevanz fachwissenschaftlicher Inhalte für die Gestaltung von Unterrichtsprozessen wurde direkt erfragt, wobei ‚relevant‘ als hilfreich, sinnvoll oder anwendbar definiert wurde. Das universitär vermittelte Fachwissen wird dabei als eher weniger relevant wahrgenommen. Wenn eine erhöhte Relevanz wahrgenommen wurde, so wurde das Fachwissen oft als relevante Grundlage beschrieben, aber kein konkreter Bezug zum unterrichtlichen Handeln hergestellt. Hinsichtlich der fachwissenschaftlichen Lehrveranstaltungen wurde von den Befragten oft argumentiert, dass der Schulbezug fehle. (Vogelsang 2014)

Auch für die Mathematik konnte festgestellt werden, dass die in der Hochschule vermittelte Mathematik, als erforderlich zum Absolvieren der Ausbildung, aber für den Berufsalltag als irrelevant betrachtet wird (Hefendehl-Hebeker 2004).

### **Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Der Konzeption des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* liegen auch Theorien zu Wissensrepräsentationen zu Grunde. Vor allem das *konzeptuelle Wissen* (Anderson et al. 2001; deJong und Ferguson-Hessler 1996) als Teil des deklarativen Wissens stellt sich bedeutsamer Faktor bei der Unterscheidung der Wissensstrukturen von Novizen und Experten heraus (Bromme 1992). Dementsprechend ist die Frage nach der expliziten Förderung von konzeptuellem Wissen in der ersten Phase der Lehrkräftebildung naheliegend. Die Erhebung und Förderung des konzeptuellen Wissens erfordern jedoch sowohl inhaltlich als auch methodisch besondere Herangehensweisen. So sollte vermehrt mit Prinzipien, Konzepten und Modellen anstatt mit isolierten Fakten gearbeitet werden. Konzepte und ihre Bedeutung sollten dabei stets expliziert werden.

Um die Ausprägung von *trägem Wissen* zu vermeiden, sollten in fachlichen Lehrveranstaltungen (im Sinne des situierten Lernens) authentische Anwendungsbezüge geboten werden (Gruber et al. 2000). Da die wahrgenommene Relevanz von Studieninhalten einen entscheidenden Einfluss auf Leistungen und eine mögliche Abbruchentscheidung (Heublein et al. 2017) hat, sollten diese Anwendungsbezüge als interessant und berufsrelevant wahrgenommen werden. Da sich eine wahrgenommene Berufsrelevanz für Lehramtsstudierende anders manifestiert als für Fachstudierende, sollten vermehrt abschlussbezogene fachwissenschaftliche Lehrveranstaltungen angeboten werden.

## **5.5 Modellierungsansätze zum berufsspezifischen Fachwissen von (angehenden) Lehrkräften<sup>4</sup>**

Besonders in den Fächern Mathematik und Physik wurde für die Forschung zum Professionswissen (angehender) Lehrkräfte wegweisende Arbeit geleistet. Im folgenden Teil werden Modellierungsansätze, Studien und Ergebnisse vorgestellt, die speziell innerhalb des Fachwissens von (angehenden) Lehrkräften einen berufsspezifischen Anteil ausmachen.

### **5.5.1 Mathematik**

In der COACTIV Studie wurde das Fachwissen von Lehrkräften als „[...] profundes mathematisches Verständnis des Hintergrundes des Schulstoffs“ (Kunter et al. 2011, S. 37) erhoben.

*„Dieses Wissen hat sein Fundament in der akademischen Referenzdisziplin [...] Dieses professionelle Fachwissen schließt die souveräne Beherrschung des Schulstoffs selbst mit ein; aber weder solches Schulwissen noch mathematisches Alltagswissen genügen, um die mathematische Herausforderungen zu bewältigen, die sich Lehrkräften bei der Vorbereitung und Durchführung des Unterrichts stellen.“*

(Kunter et al. 2011, S. 37)

Krauss et al. (2008) weisen darauf hin, dass dies nicht nur bedeutet den Schülerinnen curricular voraus zu sein, sondern als Lehrkraft vielmehr „ein tieferes Verständnis der Inhalte des mathematischen Schulcurriculums“ aufzuweisen, „wie es auch in Fachvorlesungen des Haupt- und Realschullehrerstudiums und in Anfängervorlesungen des Gymnasiallehrerstudiums angestrebt wird“ (Krauss et al. 2008, S. 238). Theoretisch werden

<sup>4</sup> Z.T. wurden Inhalte dieses Kapitels bereits in Woehlecke et al. (2017) veröffentlicht.

allerdings auch noch weitere Formen des mathematischen Fachwissens unterschieden: *akademisches Forschungswissen*, *Beherrschung des Schulstoffs auf einem zum Ende der Schulzeit erreichbaren Niveau* und *mathematisches Alltagswissen von Erwachsenen* (Krauss et al. 2008).

Im internationalen Bereich wurde das Professionswissen von Mathematiklehrkräften von Ball et al. (2008) (Michigan Group), aufbauend auf Shulman (1986), umschrieben. Sie unterteilen das Fachwissen in mehrere Domänen. Analysen deuteten bereits frühzeitig an, dass eine Multi-Dimensionalität des unterrichtsbezogenen Fachwissens plausibel ist (Hill et al. 2004). Bezugspunkte zum *erweiterten Fachwissen für den schulischen Kontext* weisen insbesondere drei Domänen auf: *common content knowledge* (CCK), *specialized content knowledge* (SCK) und *knowledge of content and students* (KCS). Die Domäne CCK beschreibt das außerhalb von schulischen Kontexten verwendete mathematische Wissen sowie die dazugehörigen mathematischen Fähigkeiten. Dieses Wissen und diese Fähigkeiten erweisen sich für Lehrpersonen als durchaus notwendig, sind jedoch nicht spezifisch für sie. Auf der Scheidelinie zwischen Fachwissen und fachdidaktischem Wissen steht das SCK. Es besteht aus dem Wissen und den Fähigkeiten die unterrichtsspezifisch sind, aber über das Schulwissen hinaus gehen. Lehrpersonen sollten in der Lage sein, explizit zu reflektieren, wie mathematische Sprache verwendet wird, wie mathematische Darstellungen effektiv ausgewählt, bzw. hergestellt werden können und wie mathematische Ideen erklärt und begründet werden (Ball et al. 2008). Laut Hill et al. (2004) entwickelt sich dieses Wissen einerseits durch die Ausbildung und andererseits durch die Berufserfahrung. Im Fokus der Domäne KCS steht Wissen über typische Schülervorstellungen und deren typische Interaktionen mit spezifisch mathematischem Wissen.

Der Unterschied zwischen CCK, SCK und KCS wird mit Hilfe eines Beispiels deutlich gemacht:

*„[...] recognizing a wrong answer is common content knowledge (CCK), whereas sizing up the nature of an error, especially an uncommon error, typically requires nimbleness in thinking about numbers, attention to patterns, and flexible thinking about meaning in ways that are distinctive of specialized content knowledge (SCK). In contrast, familiarity with common errors and deciding which of several errors students are most likely to make are examples of knowledge of content and students (KCS).“*

(Ball et al. 2008, S. 401).

Es konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der Ausprägung des *mathematical knowledge for teaching* und der Lernleistungen der Schüler\*innen nachgewiesen werden. Die Grenzen zwischen diesen drei Domänen sind doch nicht immer einfach anzugeben, was es schwierig macht, präzise Definitionen zu formulieren. (Ball et al. 2008)

Aufbauend auf u.a. die COACTIV-Studie und Studien der Michigan Group wurde im Rahmen der KiL-Studie Mathematik das fachspezifische Wissen von Lehramtsstudierenden weiter umschrieben (Loch 2015; Heinze et al. 2016). Während sich die Michigan-Group auf Grundschullehrkräfte bezieht, nimmt die KiL-Studie angehende Sekundarschul-Lehrkräfte in den Blick. Das fachspezifische Wissen umfasst in der Studie von Loch (2015) die Komponenten *Schulfachwissen* (SW), *akademisches Fachwissen* (FW), *fachdidaktisches Wissen* (FDW) und *Fachwissen im schulischen Kontext* (FWsK). Das FW beinhaltet in diesem Modell nur das universitäre mathematische Wissen. Das FWsK bildet das Bindeglied zwischen dem SW und dem FW. Es beschreibt „[...] ein angewendetes mathematisches Wissen speziell für das Unterrichten von Mathematik“ (Loch 2015, S. 47). Das FDW stellt in

Abgrenzung dazu ein überwiegend erziehungswissenschaftlich-psychologisch geprägtes Wissen über das Unterrichten von Mathematik dar.

Das für diese Arbeit besonders relevante FWsK wird von Loch (2015) in drei Facetten unterteilt. Das (1) *Wissen über Zusammenhänge zur Hintergrundtheorie* umfasst Wissen darüber „[...] ,welche mathematischen Definitionen, Sätze und Beweise hinter bestimmten schulischen Inhalten und Themen liegen“ (Loch 2015, S. 52). Es stellt eine Art „Verknüpfungswissen“ zwischen dem akademischen Fachwissen und dem Schulwissen dar. Auch das Wissen darüber, welche realen Kontexte und Anwendungen die thematisierten mathematischen Inhalte besitzen, ist Teil dieser Facette.

Die Facette (2) *Wissen über fachliche Folgen von Reduktionen* umfasst

*„[...] Kenntnisse darüber, welche mathematischen Ungenauigkeiten, Inkonsistenzen und Einschränkungen durch die Kürzung und Eingrenzung des fachlichen Inhalts in didaktisch aufbereiteten Unterrichtsmaterialien entstehen können und welche Auswirkungen dies auf darauf aufbauende Themenbereiche des Unterrichts haben kann.“*

(Loch 2015, S. 53)

Auch das Wissen über Begründungen und Argumentationen von Lernenden für eine bestimmte Erklärung im Unterricht, wurde zu dieser Facette gezählt. Die Facette wirft Fragen auf, wie: Wird ein Inhalt fachlich korrekt reduziert? Und: Zu welchen fachlichen Ungenauigkeiten könnte eine Reduktion führen? Loch (2015) macht hier auch den engen Zusammenhang mit dem FDW deutlich, weil didaktisch reduzierte Fachinhalte mathematisch reflektiert werden.

Zuletzt beschreibt das (3) *curriculare Wissen* die Kenntnisse über die sachliche Anordnung von Inhalten aufgrund der mathematischen Struktur und die Abhängigkeit eines Inhalts von einem anderen. Wie sind Inhalte aufeinander aufgebaut? Was sind die Vorstellungen von Lernenden, basierend auf ihrem Vorwissen? Auch hier ist eine Abgrenzung zum FDW notwendig: Ob das Wissen über die Abfolge der Themen und Inhalte zum FDW oder zum FWsK gerechnet wird, ist davon abhängig ob man die Abfolge aus einem psychologischen oder lernkognitiven Blickwinkel oder aus einem Blickwinkel, der vor allem die sachlogischen Strukturen einbezieht, betrachtet. Im erstgenannten Fall zählt das Wissen zum FDW im letztgenannten Fall zum FWsK.

Im Rahmen der KiL-Studie Mathematik wurde gezeigt, dass ein dreidimensionales Modell (bestehend aus akademischem Fachwissen, Fachwissen im schulischen Kontext und fachdidaktischem Wissen) als bestes im Stande war die Struktur der erhobenen Daten zu erschließen (Loch 2015; Heinze et al. 2016). In einer Interviewstudie bestätigte sich, dass Lehramtsstudierende bei der Beantwortung entsprechender Items auf Konstrukt-konforme Wissensbestände zurückgreifen (Loch et al. 2014). Das FWsK scheint also kein Teil vom akademischen Fachwissen oder fachdidaktischen Wissen zu sein, sondern stellt vielmehr eine eigene Wissenskomponente dar. Weiterhin weisen die Zusammenhänge zwischen dem akademischen Fachwissen und dem FWsK und zwischen dem fachdidaktischen Wissen und dem FWsK darauf hin, dass das FWsK das akademische Fachwissen mit dem fachdidaktischen Wissen verknüpft.

Heinze et al. (2016) präzisieren die ersten zwei Facetten des FWsK als Wissen über Zusammenhänge zwischen akademischer und schulischer Mathematik in bottom-up-Richtung (*Wissen über Zusammenhänge zur Hintergrundtheorie*) und in top-down-Richtung (*Wissen über fachliche Folgen von Reduktionen*). Die Autoren schlagen einen Erwerb des

FWSK in fachdidaktischen Lehrveranstaltungen begleitend zum Erwerb von fachdidaktischem Wissen vor. Demnach könnten Studierende eine Verknüpfung der thematisierten Schulmathematik mit ihrem akademischen Fachwissen herstellen (Heinze et al. 2016).

Bauer und Partheil (2009) demonstrieren ein mögliches Vorgehen in lang erprobten und erfolgreichen Schnittstellenmodulen für das Lehramtsstudium Mathematik sehr anschaulich. Hierbei wird einerseits die Schulmathematik in Fachveranstaltungen „[...] im neuen Rahmen eingeordnet, reflektiert und vertieft [...]“ (Bauer und Partheil 2009, S. 90). Andererseits werden auch Fachdidaktik und Fachwissenschaft verknüpfende Lerngelegenheiten geschaffen, indem fachdidaktische Fragestellungen in einem direkten Bezug zum fachlichen Hintergrund angesprochen werden (Bauer und Partheil 2009). Auch die BMBF-geförderte Qualitätsoffensive Lehrerbildung gab zahlreichen Lehr- und Forschungsprojekten zur stärkeren Verzahnung und Vernetzung von Fachdidaktik und Fachwissenschaften Anschwung (vgl. Glowinski et al. 2018a).

### 5.5.2 Physik

Das Professionswissen von Physiklehrkräften wurde u.a. in der Paderborner Gruppe (Riese 2009) modelliert und untersucht. Aufbauend auf Shulman (1986), Bromme (1997) und Baumert & Kunter (2006) wurde ein Rahmenmodell verwendet, wonach das Professionswissen ausdifferenziert ist in Fachwissen, fachdidaktisches Wissen und Pädagogisches Wissen. Riese (2009) unterteilt weiterhin das Fachwissen in die Niveaustufen *Schulwissen*, *vertieftes Wissen* (in Anlehnung an Definitionen aus MT21 und COACTIV; vgl. Blömeke et al 2008; Krauss et al 2008) und *universitäres Wissen*. Das *vertiefte Wissen* wird hier stichpunktartig umschrieben als:

*„Vertieftes und vernetztes Wissen in Bezug auf den Schulstoff; Schuphysik [sic!] von einem höheren Standpunkt aus; Wissen multipler Zugänge; Wissen, das für Schulabsolventen ungewohnt ist, diesbezügliche Aufgaben aber auf Grund der Nähe zum Schulcurriculum prinzipiell noch von sehr guten Schülern gelöst werden können“*

(Riese 2009, S. 80).

Weil Riese in seinen Studien in diesen Niveaustufen keinen steigenden Schwierigkeitsgrad nachweisen konnte, verwenden Woitkowski et al. (2011) statt des Begriffs „Niveaustufen“ den Begriff „Fach-Stufen“. Das *vertiefte Wissen* wird weiter umschrieben als Wissen, das die Brücke schlägt zwischen *Schulwissen* und *universitären Wissen*. Aus verschiedenen theoretischen Ansätzen und Studien heraus wurden Charakteristika des *vertieften Wissens* zusammengefasst:

*„(i) Explizite Kombination von Schul- und universitärem Wissen. (ii) Anwendung von universitären Denkweisen auf typische Probleme der Schulphysik. (iii) Systematisierung und Herstellung von Zusammenhängen des Schulwissens vor dem Hintergrund universitärer Physik; eine umfassende Sicht auf die Physik als Ganzes (im Sinne Kleins für die Mathematik). (iv) Einübung (bzw. Erfassung) von elaborierten Denk-, Sprech- und Verhaltensweisen im Umgang mit Physik anhand von Gegenständen der Schulphysik. (v) Reflexion von Bedeutung, Genese und Verwendung von Begriffen der Schulphysik. (vi) Als Konkretisierung der vorhergehenden beiden Punkte: Items, die gezielt Fehlvorstellungen abtesten.“*

(Woitkowski et al. 2011, S. 303)

Im Rahmen des Projekts Profile-P (Riese et al. 2015) wird versucht das Professionswissen in der Lehramtsausbildung Physik zu modellieren und messen. Aufbauend auf mehrere



Studien (Baumert und Kunter 2006; Riese 2009) unterscheiden sie für das Fachwissen drei Fachstufen: *Schulwissen*, *vertieftes Schulwissen* und *universitäres Wissen*. Das *vertieftes Schulwissen* wurde mit den folgenden Fähigkeiten modelliert:

*„1. Verschiedene Wege zur Lösung einer Aufgabe identifizieren und anwenden; 2. Lösung einer Aufgabe aus theoretischer Sicht planen; 3. Randbedingungen einer Schulaufgabe erkennen; 4. Aufgaben zielgruppenrecht vereinfachen; 5. Zusammenhänge, Gemeinsamkeiten und Unterschiede physikalischer Phänomene erkennen.“*

(Riese et al. 2015, S. 60)

Es zeigten sich jedoch Schwierigkeiten in der Operationalisierung: Die Validierung des Fachwissenstests zeigte, dass nur Aufgaben zu den Fähigkeiten 3 und 5 konstruiert werden konnten (Riese et al. 2015).

Auch die in der Paderborner Gruppe verwendete Binnenstruktur des Fachwissens (mit den Stufen *Schulwissen*, *vertieftes Wissen* und *universitäres Wissen*) konnte mit konfirmatorischen Faktoranalysen empirisch bestätigt werden (Riese 2009). In einem Vergleich zwischen Lehramtsstudierenden Physik mit einem Haupt- und Realschulstudiengang zu Studierenden mit einem Gymnasialstudiengang wiesen Indizien darauf hin, dass bei erstgenannten das *Schulwissen* und *vertieftes Wissen* bei der Auswahl bezüglich des Inhalts und der Tiefe der fachlichen Ausbildungsanteile im Vordergrund stehen sollte. Das Vernetzen vorhandener Wissensbeständen und damit das Kennenlernen verschiedener fachlicher Zugänge zu einem Themengebiet scheint in diesem Zusammenhang von zentraler Bedeutung für fachbezogene Unterrichtsprozesse zu sein. Weiterhin wurde anhand der Daten vermutet, dass fehlendes schulrelevantes Fachwissen im Hinblick auf das Handeln im Unterricht sich nicht ohne weiteres durch rein universitäres Wissen kompensieren lässt. Das rein universitäre Wissen lädt, im Gegensatz zu den zwei anderen Niveaustufen, weder signifikant auf fachdidaktisches Wissen noch auf zwei kreative und analysierende Teile der Unterrichtsvignetten. Das universitäre Wissen lädt jedoch signifikant auf das *Schulwissen* und das *vertieftes Wissen*. Universitäres Wissen ist also nicht irrelevant, aber das *Schulwissen* und das *vertieftes Wissen* scheinen (anhand dieser Ergebnisse) unmittelbar bedeutender für das Handeln im Kontext von Physikunterricht zu sein. (Riese 2009)

### **Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass durch mehrere Studien in der Physik und Mathematik gezeigt werden konnte, dass sich ein berufsbezogenes Fachwissen für (angehende) Lehrkräfte sinnvoll modellieren lässt und sich vom akademischen und schulischen Fachwissen trennen lässt (u.a. Hill et al. 2004; Riese 2009; Loch 2015).

Als Gemeinsamkeit der Modellierungen ist vor allem die Anwendung von akademischen Denkweisen auf schulische Inhalte, respektive der Brückenschlag (Woitkowski et al. 2011) zwischen akademischem Wissen und *Schulwissen* zu nennen, welcher bei einem angemessen ausgeprägten berufsspezifischen Fachwissen sowohl in bottom-up-, als auch top-down-Richtung vollzogen werden kann (Heinze et al. 2016).

Für die Lehre im Lehramtsstudium implizieren die theoretischen Überlegungen und empirischen Ergebnisse u.a. den expliziten Fokus auf berufsspezifisches Fachwissen in fachwissenschaftlichen Veranstaltungen für Lehramtsstudierende (u.a. Riese 2009).

Weiterhin werden auch Fachwissenschaft und Fachdidaktik verzahnende Lehrveranstaltung gefordert (u.a. Heinze et al. 2016).

Weiterer Forschungsbedarf besteht kontinuierlich bezüglich des Einflusses von berufsspezifischem Fachwissen auf die Planung und Durchführung von Unterricht und auf den Lernerfolg und die Motivation der Schüler\*innen.

Ebenso ist bis jetzt noch nicht zufriedenstellend geklärt, inwiefern die Explikation von berufsspezifischem Fachwissen günstig erfolgen kann, welche Lerngelegenheiten dafür geeignet sind und wie diese gestaltet sein sollen. Fragen der Breite (Auswahl von Inhalten) und Tiefe (Niveau der Ausführung) stehen im Raum. Auch hinsichtlich der Vermittlung, stellt sich die Frage, ob vermehrt das Schulwissen oder das akademische Wissen als Ausgangspunkt herangezogen werden sollte. Bei einem Blick auf diese Desiderata wird schnell deutlich, dass diese genauere Ausdifferenzierung eines berufsspezifischen Fachwissens und die anschließende Vermittlung fach- und gegenstandbezogen erfolgen sollte.

## 6 Das Modell des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext*

Wie bereits oben beschrieben (s. Kapitel 1), liegt der Fokus von universitären Fach-Lehrveranstaltungen im Lehramt für die Sekundarstufe häufig auf dem Wissen, welches sich an der akademische Bezugsdisziplin orientiert. Bezüglich der Ausbildung eines berufsspezifischen Fachwissens, welches von Lehrkräften angewendet werden soll, drängen sich jedoch zwei Fragen auf: Generiert sich dieses berufsspezifische Fachwissen automatisch, durch die Auseinandersetzung mit universitärem Wissen über einen längeren Zeitraum (z.B. über Lerngelegenheiten in der Universität) und die zeitnahe Auseinandersetzung mit Wissen auf Schulniveau (z.B. bei der direkten Unterrichtsvorbereitung durch Schulbücher und Sachanalysen)? Oder sollte das berufsspezifische Fachwissen explizit in fachwissenschaftlichen Lehrveranstaltungen gefördert werden? Um diesen Fragen nachzugehen, ist es notwendig, den Anteil an Fachwissen zu bestimmen, der sich auf die die Kategorie eines berufsspezifischen Fachwissens bezieht.

Für das Modell des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* wurden im Fachverbund (Biologie, Geschichte, Mathematik, Physik, Wirtschaft-Arbeit-Technik) Facetten beschrieben und ausdifferenziert. Die Facetten begründen sich aus theoretischen und empirischen Arbeiten (u.a. Shulman 1986; 1987; Baumert und Kunter 2006; Riese 2009; Woitkowski et al. 2012; Loch et al. 2014; Woitkowski et al. 2011). In Anlehnung an das Modell der professionellen Handlungskompetenz (Baumert und Kunter 2006) gehen auch im Modell des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* das Fachwissen, das fachdidaktische Wissen und das pädagogische Wissen als Wissensbereiche auf (s. Abbildung 4). In der Differenzierung der Kategorien des Fachwissens wird sich in der hier vorgestellten Modellierung an die Arbeiten von Riese (2009) und Woitkowski et al. (2012) angelehnt. *Schulwissen* wird dort als das Fachwissen definiert, welches curriculare Inhalte und Fähigkeiten bis zum Niveau der Sekundarstufe II beinhaltet. Das *universitäre Wissen* schließt das Wissen ein, welches generell in universitären Lehrveranstaltungen vermittelt wird und gleichzeitig über das Schulwissen hinausgeht.

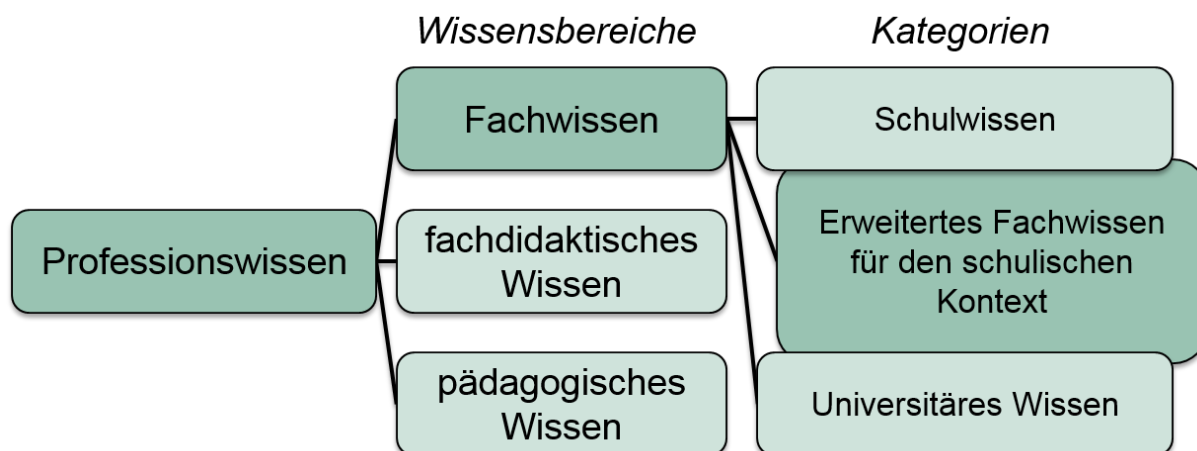


Abbildung 4 Wissensbereiche des Professionswissens und Kategorien des Fachwissens (in Anlehnung an Baumert und Kunter 2006 und Riese 2009)

Das *erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext* kann hierbei nicht als „Niveaustufe“ zwischen dem Schul- und universitären Wissen, im Sinne einer Hierarchie, verstanden werden. Auch Riese (2009) konnte keine steigende Schwierigkeit zwischen dem von ihm erhobenen *vertieften Schulwissen* und *universitären Wissen* ausmachen. Das *erweiterte Fachwissen* stellt vielmehr eine berufsspezifische Anwendung des Fachwissens durch fachliche Anforderung dar, die sich Lehrkräften stellen. Es ist vernetztes Wissen, welches die Basis für das Erklärungsrepertoire der Lehrkraft bildet (Baumert und Kunter 2006). Es geht beim *erweiterten Fachwissen* nicht nur um Faktenwissen, sondern auch um das nötige Wissen zur Ausbildung von einer Argumentations- und Begründungskompetenz für Zusammenhänge im Fach (Krauss et al. 2008). Es kann demnach nicht ausschließlich auf Inhalte fokussiert sein, sondern schließt die Fähigkeit ein, universitäres Wissen auf schulische Inhalte zu übertragen. Die universitäre Denkweise kann dabei (wie auch schon Woitkowski et al. (2012) beschrieben haben) auf typische schulische Inhalte angewendet werden. In diesem Sinne kann man beim *erweiterten Fachwissen für den schulischen Kontext* von einem Zusammenspiel von Wissen und Fähigkeiten ausgehen. Das Wissen bildet dabei die Basis für eine Fähigkeit.

Das Modell wurde bewusst als fachübergreifendes Modell entwickelt. Die an der Konzeption beteiligten Fächer Biologie, Geschichte, Mathematik, Physik und Wirtschaft-Arbeit-Technik weisen sehr unterschiedliche Fachkulturen auf. Dennoch ist es gelungen das *erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext* mit Hilfe von drei Facetten und weiteren Beschreibungen in einem gemeinsamen Abstimmungsprozess auszuformulieren (s. Abbildung 5). Im Rahmen des Projekts wurde das Modell für die jeweiligen Fächer auf unterschiedlichste Art und Weise ausdifferenziert und durch verschiedenste Maßnahmen operationalisiert (u.a. Massolt und Borowski 2018; Glowinski et al. 2018b; Fenn und Seider 2017; Reitz-Koncebovski et al. 2018; Lüke et al. 2018).

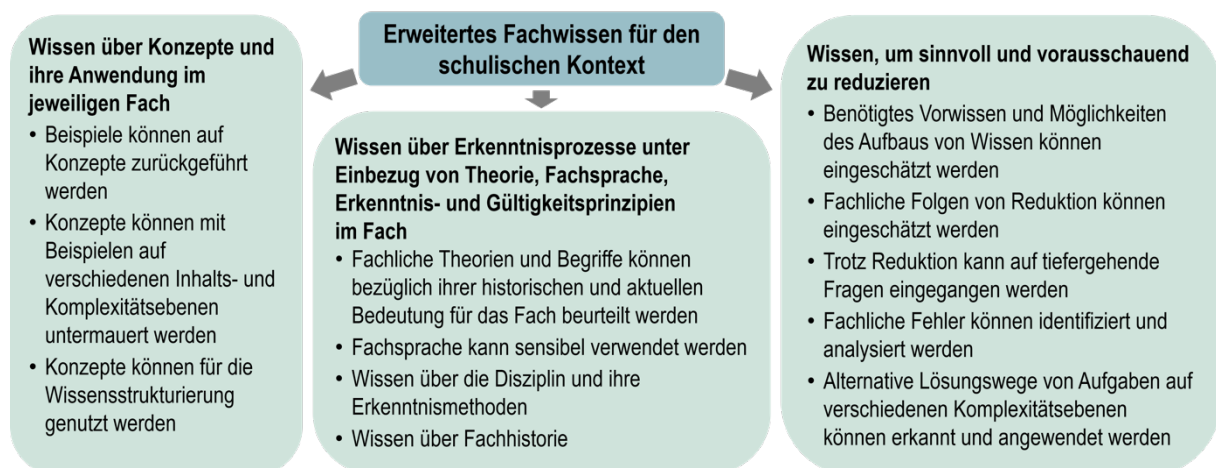


Abbildung 5 Modell des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext

In den folgenden Abschnitten werden die jeweiligen Facetten und die zu Grunde liegende Literatur weitestgehend biologiespezifisch beschrieben. Eine Übersicht über die Facetten und die maßgeblichen Ressourcen findet sich in Tabelle 5.

Tabelle 5 Facetten und Beschreibungen des erweiterten Fachwissens und die zugrundeliegenden theoretischen, normativen und empirischen Ressourcen

Facette des erweiterten Fachwissens	Ressourcen, die der Konzeption zugrunde liegen
<b>Wissen über Konzepte und ihre Anwendung im jeweiligen Fach</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beispiele können auf Konzepte zurückgeführt werden</li> <li>• Konzepte können mit Beispielen auf verschiedenen Inhalts- und Komplexitätsebenen untermauert werden</li> <li>• Konzepte können für die Wissensstrukturierung genutzt werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fundamentale Ideen (Bruner 1960),</li> <li>• Basiskonzepte (KMK 2004b)</li> <li>• Substantive knowledge (Shulman 1986, 1987; Schwab 1978)</li> <li>• Core Concepts (Michael et al. 2017)</li> <li>• Lernen mit Konzepten (Gropengießer et al. 2010)</li> </ul>
<b>Wissen über Erkenntnisprozesse unter Einbezug von Theorie, Fachsprache, Erkenntnis- und Gültigkeitsprinzipien im Fach</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fachliche Theorien und Begriffe können bezüglich ihrer historischen und aktuellen Bedeutung für das Fach beurteilt werden</li> <li>• Fachsprache kann sensibel verwendet werden</li> <li>• Wissen über die Disziplin und ihre Erkenntnismethoden</li> <li>• Wissen über Fachhistorie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Syntactic Knowledge (Shulman 1986, 1987; Schwab 1978)</li> <li>• Nature of Science (Lederman 2007; Abd-El-Khalick und Lederman 2000)</li> <li>• Disciplinary knowledge (Windschitl 2004)</li> <li>• HIPST (Höttecke 2012)</li> </ul>
<b>Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Benötigtes Vorwissen und Möglichkeiten des Aufbaus von Wissen können eingeschätzt werden</li> <li>• Fachliche Folgen von Reduktion können eingeschätzt werden</li> <li>• Trotz Reduktion kann auf tieferegehende Fragen eingegangen werden</li> <li>• Fachliche Fehler können identifiziert und analysiert werden</li> <li>• Alternative Lösungswege von Aufgaben auf verschiedenen Komplexitätsebenen können erkannt und angewendet werden</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Curricular knowledge (Loch 2015)</li> <li>• Rahmenbedingungen von Aufgaben (Riese 2009)</li> <li>• Horizon knowledge (Ball et al. 2008)</li> <li>• Substantive Knowledge (Shulman 1986, 1987; Schwab 1978)</li> </ul>

### 6.1.1 Wissen über Konzepte und ihre Anwendung im jeweiligen Fach

#### Wissen über Konzepte und ihre Anwendung im jeweiligen Fach

- Beispiele können auf Konzepte zurückgeführt werden
- Konzepte können mit Beispielen auf verschiedenen Inhalts- und Komplexitätsebenen untermauert werden
- Konzepte können für die Wissensstrukturierung genutzt werden

Sowohl das schulische als auch das universitäre Bildungssystem stehen vor einem Transferproblem, wonach eine begrenzte Auswahl von Inhalten zu Vermittlung bestimmt werden muss, die sich für die Zukunft als reichhaltig und tragfähig darstellt. Der im Folgenden beschriebenen Facette liegt die Annahme zugrunde, dass sich sowohl für Inhalte aus dem Schulfach als auch der akademischen Bezugsdisziplin übergeordnete Konzepte formulieren lassen. Das Lernen mit Konzepten baut auf dem konstruktivistischen Paradigma

auf, wonach Lernende ihr Wissen auf Grundlage des vorhandenen Wissens selbst konstruieren (s. Kapitel 7).

In den Überlegungen von Shulman (1986) geht ein Wissen über Konzepte und Prinzipien, in Anlehnung an Schwab (1978), innerhalb der *substantive structures* des *subject matter knowledge* auf. „The substantive structures are the variety of ways in which the basic concepts and principles of the discipline are organized to incorporate its facts.“ (Shulman 1986, S. 9). Obgleich Loch (2015) die *substantive structures* eher zum reinen Faktenwissen über die Inhalte des akademischen Fachwissens zuordnet, wird in der Konzeption des *erweiterten Fachwissen für den schulischen Kontext* davon ausgegangen, dass diese *substantive structures* ebenso im berufsspezifischen Fachwissen vorhanden sind, weil sie, wie bereits zuvor ausgeführt, auch konzeptuelles Wissen beinhalten (s. Kapitel 5.1).

Doch wie lassen sich Konzepte innerhalb eines berufsspezifischen Fachwissens auffassen und formulieren? Konzepte sind Netzwerkknoten innerhalb der kognitiven Wissensstruktur. Sie zeichnen sich durch Übertragbarkeit auf verschiedene Phänomene und Sachverhalte der jeweiligen Domäne aus und sichern einen systematischen Zugang um neue Informationen in die bestehende Wissensstruktur zu integrieren (Fisher et al. 2002; Mintzes et al. 2005; Cañas und Novak 2006; Zimbardo et al. 2007).

Mittlerweile gibt es zahlreiche Konzeptionen für die verschiedensten Fächer, um den abstrakten Begriff „Konzepte“ zu konkretisieren und für das Lernen nutzbar zu machen. Eine kurze Übersicht über die hier besprochenen und für diese Arbeit bedeutsamen fachspezifischen Ansätze findet sich in Tabelle 6.

Bruner (1960) machte, am Beispiel der Mathematik (aber von Grunde genommen fachneutral) auf *fundamentale Ideen*, d.h. grundlegende Ideen und Themen der Wissenschaften, aufmerksam. Weiterhin beruht auch die Entwicklung der *Basiskonzepte* (KMK 2004a, 2004b) für verschiedene andere Fächer, wie den Naturwissenschaften, auf diesen Grundüberlegungen. Förtsch et al. (2018) konnten zeigen, dass ein basiskonzeptorientierter Biologieunterricht konzeptuelles Wissen bei Lernenden fördert und dabei keinen negativen Einfluss auf das Faktenwissen hat. In der Biologie sind die Basiskonzepte zur Strukturierung des Schulunterrichts entwickelt worden – Für die Anwendung innerhalb der fachwissenschaftlichen Anteile des Lehramtsstudiums sind sie jedoch zu abstrakt. Hier lohnt es sich, einen Blick auf wissenschaftliche Konzepte zu werfen, die auf einer geringeren Abstraktionsebene liegen als die Basiskonzepte.

*„Konzepte sind Kernbotschaften, die einen biologischen Sachverhalt auf den Punkt bringen und eine ideale Korngröße für das fruchtbare Lernen und Verstehen haben.“*

(Gropengießer et al. 2010, S. 6)

Obgleich in den Ausführungen von Gropengießer et al. (2010, S. 17) nicht dezidiert deutlich wird, inwiefern ein Konzept (z.B. „Zellen entstehen aus Zellen“) sich von einer (von ihm so benannten) Behauptung (z.B. „Zellen teilen sich“) trennen lassen, bieten die Ausführungen dennoch einen fruchtbaren Ansatz zur Weiterarbeit. Novak (1998, S. 98) definiert ein Konzept als „[a] perceived regularity or pattern in events or objects, or records of events or objects, designated by a label.“ Prinzipien beschreiben hingegen „how things work or how they appear to be structured“ (Novak 1998, S. 97).

Ein weiterer Ansatz aus den USA zeigt, wie eine umfangreiche, inhaltlich konkrete und für Lehrende sehr handhabbare Definition und Ausdifferenzierung von Konzepten erfolgen kann: Die sogenannten *core concepts of biology* (Michael 2007) (in älteren Publikationen

auch *core principles* oder *big ideas* genannt (Michael et al. 2009; Michael 2007), wurden innerhalb mehrerer Workshops von 20-25 Expert\*innen (Biolog\*innen und Biologie-Lehrenden) inhaltlich definiert (s. Tabelle 6). Die allgemeinbiologischen *core concepts* weisen für die verschiedenen Themenbereiche der Biologie unterschiedlich starke Relevanz aber auch Überschneidungen auf. Im Bereich der Hochschule wird Biologie allerdings spezifischer innerhalb bestimmter Themenfelder vermittelt. Für Lehrende dieser Bereiche waren die *core concepts of biology* demnach zu abstrakt um sich tatsächlich handhabbar für Lehre und Prüfungen daran zu orientieren (Michael et al. 2017). Dies wurde als Anlass begriffen, *core concepts* für verschiedene Themenbereiche der Biologie zu definieren. So entstanden die *core concepts of physiology*, die innerhalb einer Delphi-Studie hinsichtlich ihrer Bedeutung untersucht wurden (Michael und McFarland 2011).

Durch ein sogenanntes *unpacking* wurden wiederum konkretere *concepts* und *ideas* formuliert, um letztendlich auch konkrete curriculare Hinweise aussprechen zu können. Beispielsweise wurde das *core concept* der Homöostase (H) in weitere Konzepte (z.B. „The organism maintains a stable internal environment in the face of a fluctuation external environment“ (H1)) und Subkonzepte (z.B. „Not all variables that remain within a normal range over time are homeostatically regulated variables (e.g. blood hematocrit, testosterone)“ (H1.4)) (Michael et al. 2017, S. 46). Weiterhin wurden auch Lernhindernisse, sogenannte *sticky points*, durch eine Befragung von Studierenden und Lehrenden identifiziert (z.B. „Homeostasis is an ON/OFF switch“ (Michael et al. 2017, S. 52)).

Tabelle 6 Übersicht über die hier aufgegriffenen Konzeptionen zu Konzepten in der Biologie

Basiskonzepte in den Einheitlichen Prüfungsanforderungen (KMK 2004b)	Core Concepts definiert von (American Association for the Advancement of Science (AAAS) 2011)	Core concepts definiert von CAB Workshop (Michael 2007)	Core Concepts of physiology (Michael und McFarland 2011)
Struktur und Funktion	Evolution	The cell is the basic unit of life	Evolution
Reproduktion	Pathway and transformations of energy and matter	Information flow	Homeostasis
Kompartimentierung	Information flow, exchange and storage	Matter and energy	Causality
Steuerung und Regelung	Structure and function	Homeostasis	Energy
Stoff- und Energieumwandlung	Systems	Structure and function	Structure and Function
Information und Kommunikation		Causal mechanisms	Cell theory
Variabilität und Anpasstheit		Ecosystem	Levels of organization
Geschichte und Verwandtschaft		Evolution	Cell membrane
			Flow down gradients
			Genes to proteins
			Interdependence
			Mass balance
			Physics/chemistry
			Scientific reasoning

Da diese *core concepts* nicht für jeden biologischen Themenbereich in ausgearbeiteter Form vorliegen, sind Dozierende in der Lehrkräftebildung angehalten, eigenständig die relevanten Konzepte zu identifizieren und den Studierenden explizit zu machen. Ebenso müssen Lehrkräfte für den Unterricht in der Lage sein, Konzepte selbst zu erkennen, zu benennen, voneinander abzugrenzen und innerhalb einer Wissensstrukturierung miteinander in Verbindung zu setzen. Lehrkräfte müssen wissen und selbst entscheiden, warum ein bestimmter Inhalt oder ein Konzept den zentralen Inhalten bzw. Konzepten der Disziplin zugeordnet wird, während andere eher randständig sind. Das *erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext* beinhaltet (dieser Überlegung nach) konzeptuelles Wissen, wodurch Sachverhalte tiefergehend verstanden werden können.

Statt isoliertem Detailwissen sollte auch in universitären Lehrveranstaltungen speziell das Denken in Zusammenhängen gefördert werden, indem Konzepte mit Erklärungen und Beispielen vernetzt werden. Einzelne fachliche Sachverhalte können mit Hilfe des *erweiterten Fachwissens* auf ihre Konzepte zurückgeführt werden. Im Umkehrschluss können die übergeordneten Konzepte auch mit Beispielen auf verschiedenen Inhalts- und Komplexitätsebenen untermauert werden. Hierfür muss eine Differenzierung von Konzept und Beispiel vorgenommen werden. Das *erweiterte Fachwissen* beinhaltet Wissen aber auch die Fähigkeit einerseits ein Konzept (z.B. die Biomembran ist asymmetrisch aufgebaut) und andererseits ein Beispiel für das Konzept, (z.B. Kohlenhydratseitenketten befinden sich ausschließlich auf der nichtcytosolischen Seite der Biomembran) zu identifizieren. Hier wird auch in Analogie zu den Ausführungen von Anderson et al. (2001) der Zusammenhang zwischen Faktenwissen und konzeptuellem Wissen deutlich (s. Kapitel 5.2). Zum Verständnis für ein Konzept werden Beispiele benötigt. Die Wiedergabe eines Konzeptes allein macht noch kein konzeptuelles Wissen aus (deJong und Ferguson-Hessler 1996).

In Shulmans *Model of Pedagogical Reasoning and Action* (Shulman 1987) (s. Kapitel 5.1) gehen die beschriebenen Aspekte innerhalb der *Comprehension*, als erster Schritt zum Umgang mit den fachlichen Inhalten auf. Hier werden folgende Aufgaben definiert:

*„[1] Comprehend critically a set of ideas to be taught [...] [2] Understand what to teach and if possible understand it in several ways [...] [3] understand how a given idea relates to other ideas in the same and other subjects“*

(Shulman 1987, S. 15).

Dieses innerhalb der Facette beschriebene konzeptuelle Wissen ermöglicht es der Lehrkraft, sich selbstständig komplexe Sachverhalte auf universitärem Niveau anzueignen und zu verstehen. Letztendlich ist es auch Ziel des Lehramtsstudiums, die angehenden Lehrkräfte zu befähigen, sich im Laufe ihrer Berufslaufbahn fachlich eigenständig weiterzubilden.

Die für den biologischen Themenbereich dieser Studie relevanten Konzepte über die Struktur und Funktion der Biomembran wurden über eine curriculare Analyse anhand der universitär gelehrteten Inhalte im Vergleich zu Inhalten aus Schulbüchern identifiziert (s. Kapitel 11.2).



### **Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Für fachliche Inhalte aus dem schulischen und universitären Wissensbereich lassen sich übergeordnete wissenschaftliche Konzepte formulieren. Kognitionspsychologisch werden Konzepte als Netzwerkknoten innerhalb der kognitiven Wissensstruktur bezeichnet (Zimbardo et al. 2007). Gropengießer et al. (2010) definieren Konzepte pragmatischer als *Kernbotschaften*. Das Lernen mit und über diese Konzepte ermöglicht (durch den hohen Grad an Übertragbarkeit) den Aufbau einer vernetzten Wissensstruktur.

Gropengießer et al. (2010) plädieren in ihren Ausführungen dafür, Konzepte in Schulbüchern als Kapitelüberschriften zu formulieren. Überträgt man dies auf fachwissenschaftliche universitäre Lehrveranstaltungen, sollten Konzepte demnach nicht versteckt, sondern explizit dem Lernen vorangestellt werden. Konzepte müssen allerdings zunächst gegenstandsspezifisch erschlossen werden. Die kann beispielsweise durch Expertenbefragungen, Delphi-Studien (Michael und McFarland 2011) oder Literaturanalysen erfolgen.

Eine für diese Arbeit interessierende Frage ist, inwiefern es angehenden Lehrkräften gelingt, Konzepte zu identifizieren, bzw. eigenständig zu formulieren.

### **6.1.2 Wissen über Erkenntnisprozesse unter Einbezug von Theorie, Fachsprache, Erkenntnis- und Gültigkeitsprinzipien im Fach**

#### **Wissen über Erkenntnisprozesse unter Einbezug von Theorie, Fachsprache, Erkenntnis- und Gültigkeitsprinzipien im Fach**

- Fachliche Theorien und Begriffe können bezüglich ihrer historischen und aktuellen Bedeutung für das Fach beurteilt werden
- Fachsprache kann sensibel verwendet werden
- Wissen über die Disziplin und ihre Erkenntnismethoden
- Wissen über Fachhistorie

Ein fundiertes Verständnis über die Bedeutung von fachlichen Begriffen und Theorien wird als zentral erachtet. Dieses schließt auch das Wissen über die Genese von allgemeinen Theorien und Begriffen in epistemologischer Hinsicht ein. Deng hebt diesbezüglich hervor:

*“It is helpful for science teachers to adopt a historical perspective that reconnects the concepts and principles to be taught with the actual process of knowledge development and justification.”*

(Deng 2007, S. 523)

Hierdurch wird auch der Bezug zum *syntactic knowledge*, d.h. zum Wissen über die Disziplin (Schwab 1964; Shulman 1986), deutlich. Lehrkräfte sollen in ihrer jeweiligen Disziplin z.B. wissen, wie Wissenschaftler\*innen Forschungsfragen mit Hilfe von Modellen und Theorien entwickeln bzw. welche methodischen Standards unter welchen Bedingungen als etabliert für die Erhebung von Daten gelten. Dazu sollten die Grundstrukturen bezüglich fachspezifischer Erkenntniswege verstanden worden sein. Hier wird auch der Bezug zu Windschitls *disciplinary knowledge* im Sinne von „knowledge of domain-specific methods of investigation“ (Windschitl 2004, S. 5) deutlich, welches besonders im Hinblick auf die

Förderung des Kompetenzbereichs der Erkenntnisgewinnung Relevanz findet. Das *disciplinary knowledge* steht für Windschitl (2004) außerhalb des *content knowledge*.

Weiterhin ist die Nähe zu dem Konstrukt *Nature of Science* (NOS) (Abd-El-Khalick und Lederman 2000; Abd-El-Khalick 2005; Lederman 2007) sowie zu den epistemologischen Überzeugungen (z.B. Sicherheit des Wissens) unverkennbar. Für das *syntactic knowledge* und das *disciplinary knowledge* gilt im Vergleich zu NOS und insbesondere zu den epistemologischen Überzeugungen eine höhere Disziplinspezifität.

Für das Konstrukt des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* geht dieses Wissen, wie auch von Shulman (1986) vorgesehen, innerhalb des Fachwissens auf. Es kann hinsichtlich der Lehrkräftebildung davon ausgegangen werden, dass für den Erwerb des entsprechenden Wissens ähnliche Lerngelegenheiten notwendig sind, wie für die Genese eines adäquaten Verständnisses über NOS. Allerdings sollte das Wissen über NOS über das von Schüler\*innen zu erlangende Verständnis hinausgehen.

*„They [teachers] need to know a range of related examples, demonstrations, and historical episodes. They should be able to comfortably discourse about these NOS aspects, contextualize their teaching about NOS with some examples or ‘stories’ from history of science, and design science-based activities to render the target NOS aspects accessible and understandable to pre-college students.“*

(Abd-El-Khalick 2005, S. 16)

Bei Untersuchungen mit Schüler\*innen hat sich herausgestellt, dass die bloße eigene Durchführung von Methoden der Erkenntnisgewinnung nicht ausreicht, um ein adäquates Verständnis über NOS zu erlangen. Es wird daher vorgeschlagen den Erkenntnisgewinnungsprozess um reflexive Elemente zu erweitern (Schwartz et al. 2004). Lehrkräfte, die über angemessene epistemologische Überzeugungen oder Vorstellungen über NOS verfügen, sind laut einer Studie von Clough und Olson (2012) auch besser in der Lage, Brückenschläge zwischen den Fachinhalten und dem Wissenschaftsverständnis herzustellen.

Ein fundiertes Verständnis von fachlichen Begriffen und Theorien ermöglicht der Lehrkraft auch eine sensible Verwendung von Fachsprache. So konnte Reinisch (2018) beispielsweise zeigen dass für die Begriffe „Theorie“, „Modell“ und „Gesetz“ teilweise Alltagsvorstellungen bei Lehramtsstudierenden vorliegen. Sie plädiert dementsprechend für den expliziten Aufbau eines Metaverständnisses für naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweisen im Lehramtsstudium. Ebenso können bei der Auseinandersetzung mit der hier beschriebenen Facette des *erweiterten Fachwissens* Parallelen zum Modell der didaktischen Rekonstruktion als Planungsgrundlage für den Unterricht (Reinfried et al. 2009) gezogen werden. Die innerhalb der *Fachlichen Klärung* unter anderem zu beantwortenden Fragen sind folgende: „Welche Genese, Funktion und Bedeutung haben die fachlichen Begriffe und in welchem Kontext stehen sie? – Welche Termini legen durch ihren Wortsinn lernhinderliche und bzw. -förderliche Vorstellungen nahe?“ (Reinfried et al. 2009, S. 409) Obgleich in der letzten Frage bereits ein Rückbezug auf die Erfassung der Schülerperspektive stattfindet, kann diese Einschätzung jedoch ebenfalls auf rein fachlicher Ebene (beispielsweise hinsichtlich der Komplexität bestimmter Sachverhalte oder Begriffe) vorgenommen werden.

Dieser Facette ist darüber hinaus ein Zugang zur Fachhistorie inhärent. Anhand der Auseinandersetzung mit der Fachhistorie werden Zugänge zu klassischen Problemen des Fachs (Windschitl 2004) und die Veränderlichkeit der Wissensbestände deutlich. Beispielsweise müssen Biologielehrkräfte wissen, inwiefern neue Theorien auf älteren

aufbauen und inwiefern in den Biowissenschaften fachübergreifend gearbeitet wird. Die Entdeckung der DNA-Struktur als Doppelhelix mit Basenpaaren durch Watson und Crick folgte z.B. auf wichtige Vorarbeiten wie Paulings Erkenntnisse zu helikalen Proteinstrukturen und Franklins, Goslings und Wilkins' Röntgenbeugungsdiagrammen. Die angewendeten Methoden, die zur Erkenntnisgewinnung beitragen, lassen sich nicht einer einzigen Disziplin zuordnen. Die Bedeutung der Fachhistorie und Wissenschaftsphilosophie für ein Lernen in den Naturwissenschaften und der Mathematik wird seit nunmehr als zwei Jahrzehnten von der IHPST-Group (International History, Philosophy and Science Teaching Group) hervorgehoben. Durch beispielsweise das HIPST-Projekt (Höttecke 2012) wurden zahlreiche Fallstudien zugänglich gemacht, die zeigen, wie erfolgreiches Lernen von Naturwissenschaftsgeschichte und -philosophie in Kombination mit Erkenntnisgewinnung gelingen kann.

### **Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Der Einbezug der *syntactic structure* des berufsbezogenen Fachwissens stellt einen Unterschied zu den Systematisierungen von beispielsweise Baumert und Kunter (2006), Riese (2009) oder Loch (2015) dar. Ein umfassendes fachliches Verständnis beinhaltet dem *erweiterten Fachwissen für den schulischen Kontext* nach auch ein Wissen über Erkenntnisgewinnungsprozesse und deren Methoden.

Wissenschaftsreflexive Aspekte werden in fachbiologischen Lehrveranstaltungen (aufgrund des Fokus auf die Vermittlung von Fachwissensinhalten) selten explizit gemacht. Wenn ein Wissen über die Disziplin vermittelt wird, erfolgt dies häufig isoliert in Form von fachdidaktischen Veranstaltungen. Auch in Fachveranstaltungen sollte Raum gegeben werden, um auf die Genese von Wissen einzugehen und explizit zu machen, dass es sich um veränderliche Wissensbestände handelt. Das Nachdenken über das Fach sollte zum Fach dazugehören (Dittmer 2012).

In Bezug auf Lehramtsstudierende gibt es bis jetzt wenige Studien zu wissenschaftsreflexiven Aspekten und/oder ihrem Verständnis über NOS. Indizien weisen jedoch darauf hin, dass Lehramtsstudierende häufig über inkonsistente Vorstellungen zu NOS-Aspekten verfügen. Die Vorstellungen erweisen sich dabei z.T. als sehr resistent und sind auch durch Interventionen schwerlich veränderbar (Reinisch 2018; Müller und Reiners 2019).

Demnach gibt es weiteren Forschungsbedarf, wie eine Vermittlung im Lehramtsstudium gewinnbringend erfolgen kann und vor allem, inwiefern dieses Wissen in fachliche Studienanteile integriert werden kann. Die der Arbeit zugrunde liegende Studie fokussiert jedoch aufgrund der gewählten inhaltlichen Schwerpunktsetzung nicht auf diese Facette.

### 6.1.3 Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren

#### Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren

- Benötigtes Vorwissen und Möglichkeiten des Aufbaus von Wissen können eingeschätzt werden
- Fachliche Folgen von Reduktion können eingeschätzt werden
- Trotz Reduktion kann auf tiefergehende Fragen eingegangen werden
- Fachliche Fehler können identifiziert und analysiert werden
- Alternative Lösungswege von Aufgaben auf verschiedenen Komplexitätsebenen können erkannt und angewendet werden

Das *Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren* beinhaltet Einschätzungen über die Rahmenbedingungen eines fachlichen Sachverhalts. Wenn ein solcher Sachverhalt auf konzeptueller Ebene verstanden wurde, ist es der Lehrperson möglich, das benötigte Vorwissen und die Möglichkeiten des Aufbaus von weiterführendem Wissen auf inhaltlicher Ebene einzuschätzen. Z.B. sollten Biologielehrkräfte in der Lage sein, einzuschätzen, welches fachliche Vorwissen benötigt wird, um die zellulären Prozesse der Endo- und Exocytose einzuführen. Es sollten hierfür solide Kenntnisse über die Struktur und die Eigenschaften der Biomembranen (wie der Fluidität als Voraussetzung für membranverlagernden Transport) vorhanden sein. Darauf aufbauend können dann zentrale vesikuläre Transportarten durch die Zelle, wie der Endocytoseweg oder der sekretorische Weg in ein Gesamtbild eingeordnet werden. Dies basiert auf rein fachlicher Ebene. Ball et al. (2008) beschreiben dieses Wissen als *horizon content knowledge* ("awareness of how mathematical topics are related over the span of mathematics", Ball et al. 2008, S. 403) wohingegen Loch (2015) es dem *curricularen Wissen* zuordnet. Darin gehen beispielsweise die „Abhängigkeiten eines Inhalts von einem anderen“ (Loch 2015, S. 54) auf. Dieses Wissen ist rein fachlogisch zu begreifen und in Abgrenzung zum Wissen über Abfolge von Inhalten auf Grundlage lernpsychologischer Voraussetzungen von Schüler\*innen zu verstehen, welches eher dem Wissensbereich des fachdidaktischen Wissens zuzuordnen wäre (Loch 2015) (s. Kapitel 5.1 und 5.5.1). Das *curricular knowledge* von Shulman (1986) beschreibt ein Wissen über Unterrichtskonzepte und zugehörige Unterrichtsmaterialien und ist von dem hier beschriebenen Wissen abzugrenzen. Shulman (1986) beschreibt das *curricular knowledge* als eigenständige Wissenskategorie. In der hier verwendeten Systematik geht dieses Wissen im fachdidaktischen Wissen auf. Auch bei Park und Oliver (2008) ist das *knowledge of science curriculum* eine Facette des fachdidaktischen Wissens. Die Einschätzung des benötigten Vorwissens und die Möglichkeiten zum Aufbau von Wissen können hingegen unabhängig zu Kenntnissen über das (normative) Curriculum betrachtet werden. Allein die Sachlogik kann Auskunft darüber geben, welcher Inhalt einem anderen folgen kann, bzw. welcher Inhalt vorangestellt werden muss, um ein Verständnis über den fachlichen Sachverhalt zu erlangen. Lernpsychologische Überlegungen sind hierbei ausgeschlossen.

Des Weiteren wird in dieser Facette ein Wissen über die fachlichen Folgen von Reduktion und deren Reflexion verortet. Obwohl es hierbei um didaktische Reduktionen geht, grenzt auch Loch (2015) diese Facette vom fachdidaktischen Wissen ab, weil es sich hier um eine sachlogische Reflexion der fachlichen Inhalte handelt. Innerhalb dieser Facette werden

Fragen aufgeworfen, wie z.B.: Zu welchen fachlichen Ungenauigkeiten könnte eine Reduktion führen? Als Beispiel kann hier die Analogie der Biomembran zu einer Wand gelten, wie sie in vielen Unterrichtsmaterialien zu finden ist (z.B. Gemballa und Markl 2010; Wegner und Borgmann 2012). Diese horizontale Reduktion hebt vor allem die Abgrenzungsfunktion der Biomembran hervor. Sie erschwert allerdings in starkem Maße ein Lernen über die tatsächliche Struktur der Biomembran, die Eigenschaften, wie die selektive Permeabilität und die Fluidität ermöglicht.

Ebenso wird es der Lehrkraft möglich, auf tiefer gehende Fragen der Schüler\*innen einzugehen. In der Terminologie der Michigan-Group (Ball et al. 2008) gehören diese Wissensaspekte zum *specialized content knowledge*. Ein interpretatives Ergebnis einer qualitativen Interviewstudie von Hashweh (1987) ist, dass (nicht weiter differenzierte) fachliche Kenntnisse die Fähigkeit von Lehrkräften zur Verwendung von erklärenden Darstellungen und Beiträgen beeinflussen. Fragen von Schüler\*innen, die nicht auf der intendierten Bedeutungsebene liegen, können dadurch besser in den Unterricht eingebunden werden. So könnte eine tiefer gehende Schülerfrage im Zusammenhang mit der Endocytose lauten: Wird die Fläche der Plasmamembran, wenn sich durch Endocytose permanent Vesikel abschnüren, nicht immer kleiner? Hier muss sich die Lehrkraft des dynamischen Gleichgewichts als zentrales Konzept von Endo- und Exocytoseprozessen bewusst sein und dieses auch explizit machen.

Fachliche Fehler bezüglich eines Sachverhalts können durch das *erweiterte Fachwissen* leichter auf ihre Ursache zurückgeführt werden. Dieses Erkennen von fachlichen Fehlern ist ohne einen Bezug zur Lernendenperspektive zu verstehen und daher abzugrenzen vom Antizipieren typischer Vorstellungen von Schüler\*innen (Ball et al. 2008) und vom Umgang damit im Unterricht, was zum fachdidaktischen Wissen gehört. Es kann jedoch als Grundlage betrachtet werden, um fachdidaktisches Wissen (z.B. über mögliche Vorstellungen von Schüler\*innen) zu generieren.

#### **Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Das *Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren*, basiert auf Konzeptionen von Ball et al. (2008) und Loch (2015). Es grenzt sich vom fachdidaktischen Wissen in dem Sinne ab, dass es hier um die rein sachlogische Einschätzung der Rahmenbedingungen eines fachlichen Sachverhalts geht.

Die Facette bietet viele Ansatzpunkte für den Einbezug in die fachliche Lehre für das Lehramt. Anhand dieser Facette lassen sich konkrete Übungsaufgaben erstellen, wie anhand des Designs der dieser Studie zugrunde liegenden Lehrveranstaltung deutlich wird (s. Kapitel 12). Beispielsweise lassen sich Unterrichtsmaterialien (z.B. Schulbuchtexte) auf die inhärenten Reduktionen und die möglichen Folgen dieser Reduktionen untersuchen.

Inwiefern Lehramtsstudierende in der Lage sind, beispielsweise Reduktionen und ihre Folgen zu identifizieren, gibt Hinweise darüber, an welchen Stellen und in welchem Umfang Förderbedarf besteht. Es scheint zudem interessant, der Frage nachzugehen, welches Fachwissen aus dem universitären und/oder schulischen Bereich zur Bewältigung dieser Aufgaben herangezogen wird und wie das Fachwissen aus beiden Wissensbereichen miteinander verknüpft wird.

## 7 Lehr-lerntheoretischer Hintergrund

Im Sinne einer übergeordneten Lehr-Lern-Theorie ist die Arbeit größtenteils innerhalb moderat-konstruktivistischer Ansätze verankert. Diese Ansätze gelten derzeit als interdisziplinäres Paradigma, dessen Ursprung sich im radikalen Konstruktivismus als Erkenntnistheorie ausmachen lässt (Glaserfeld 1989). Dieser Erkenntnistheorie nach, gibt es zwar eine Realität – das Wissen über diese Realität ist jedoch konstruiert, respektive an das jeweilige denkende Subjekt und seine Perspektive gebunden.

Konstruktivistische Ansätze zum Lernen setzen sich mit der individuellen Veränderung von Erkenntnissen auseinander.

*„Lernende konstruieren ihr Wissen, indem sie wahrnehmungsbedingte Erfahrungen interpretieren, und zwar in Abhängigkeit von ihrem Vorwissen, von gegenwärtigen mentalen Strukturen und bestehenden Überzeugungen.“*

(Gerstenmaier und Mandl 1995, 874 f.)

Innerhalb des moderaten Konstruktivismus gehen mehrere handlungsleitende und konkrete Ansätze auf, beispielsweise die für diese Studie relevanten Ansätze zur *Cognitive Flexibility* und *Cognitive Apprenticeship*.

Ziel des *Cognitive Flexibility-Ansatzes* (Spiro et al. 1988) ist es, mit Hilfe von Instruktionen flexible Repräsentationen zu schaffen, die in verschiedenen Kontexten eingesetzt werden können. Das Vorwissen ist nicht nur als geschlossene Einheit abrufbar. Stattdessen können durch dieses multiple Konzeptwissen Problemsituation bewältigt werden. Zum Aufbau dieses Wissens sollen Lernende dasselbe Konzept in verschiedenen Situationen und Kontexten betrachten und letztendlich eigenständig komplexe Probleme lösen. Daher eignet sich der Ansatz vor allem für den fortgeschrittenen und anwendungsorientierten Wissenserwerb (Reinmann und Mandl 2006).

Der *Cognitive Apprenticeship-Ansatz* (Collins et al. 1989) zeichnet sich durch Praxisnähe aus und leitet sich von der traditionellen Handwerkslehre ab (Reinmann und Mandl 2006). Die Einbindung des Lernenden in eine Expertenstruktur ist dabei von großer Bedeutung. Lernende werden stets aufgefordert, Überlegungen zu möglichst authentischen Problemstellungen zu explizieren (Collins et al. 1989). Auf das Studium übertragen, sollen Studierende bereits frühzeitig realistische Vorstellungen ihrer möglichen späteren Tätigkeit entwickeln. Der kommunikative Austausch der Lernenden ist ein weiteres zentrales Kennzeichen. Problemlösungen und unterschiedliche Standpunkte können dabei miteinander in Bezug gesetzt werden. Lernende werden jedoch nicht sich selbst überlassen, sondern beim Aufbau von handlungsrelevanten Wissensstrukturen gezielt angeleitet. Folgende strukturierte Unterstützungsangebote sind dabei laut Reinmann und Mandl (2006) hilfreich: Beim (1) *Modeling* machen die Lehrenden zunächst ihr Vorgehen deutlich und explizieren dabei die zugrunde liegenden Gedankenschritte. Beim folgenden (2) *Coaching* unternehmen Lernende erste angeleitete Versuche eigener Problemlösungen, welche durch (3) hilfreiche Hinweise Unterstützungsmaßnahmen (*Scaffolding*) der Lehrenden begleitet wird. Im folgenden Schritt, dem (4) *Fading*, gewinnen Lernende das Selbstvertrauen, Problemlösungsprozesse und –strategien zu artikulieren und in Form der (5) *Reflection* mit anderen Lernenden zu diskutieren. Ziel des Ansatzes ist Befähigung zur (6) selbstständigen Problemlösung (*Exploration*) (Reinmann und Mandl 2006, S. 632). Kirschner et al. (2006)

betonen in ihrer Metastudie vor allem die große Bedeutung des *Scaffolding*. Lernumgebungen, die zu rasch in den Prozess des *Fading* übergehen, sind vor allem für Lernende mit wenig Vorwissen ineffektiver (Kirschner et al. 2006).

Das Lernen wird im moderaten Konstruktivismus als konstruktiv, selbstdeterminiert, individuell, sozial und situiert charakterisiert (Widodo und Duit 2004, Mandl 2006). Von Gerstenmaier und Mandl (1995, S. 879) zusammengefasst, ergeben sich daraus grundlegende Aspekte für die Gestaltung konstruktivistischer Lernumgebungen:

- Authentizität und Situiertheit (realistische Probleme und authentische Situationen schaffen Anwendungsrahmen),
- multiple Kontexte (Wissen nicht auf einen Kontext fixiert),
- multiple Perspektiven (flexible Anwendung des Wissens) und
- sozialer Kontext (kooperatives Lernen).

Als Rahmenbedingung für konstruktivistische Lernumgebungen gilt, dass keine Präsentation fertiger Ergebnisse erfolgt, sondern ausschließlich Möglichkeiten mit realen Freiheiten zur Konstruktion von Wissen aufgezeigt werden. Freiheiten zur Wissenskonstruktion müssen von den Lernenden allerdings auch erkannt und wahrgenommen werden (Reinmann und Mandl 2006) und dürfen laut moderaten Ansätzen nicht in Instruktionslosigkeit kulminieren. Dass ein Minimum an Instruktion und ein Maximum an Offenheit für den Lernprozess und -erfolg bei Lernenden nicht immer förderlich sind, zeigen Kirschner et al. (2006) in ihrer Metastudie.

Im Folgenden werden Theorien des Kognitivismus und moderaten Konstruktivismus beschrieben, die für die Entwicklung des dieser Studie zugrundeliegenden Lehr-Lern-Arrangements maßgeblich sind.

## 7.1 Theorie des bedeutungsvollen Lernens (Meaningful Learning)

Für David Ausubel, einem Wegbereiter des moderaten Konstruktivismus, gilt die bestehende Wissensstruktur des Lernenden als wichtigster Faktor für das weitere Lernen. In diesem Sinne gilt er als Begründer der *Theorie des bedeutungsvollen Lernens*. In dieser stellt er dem *rote learning* (Auswendiglernen), das *meaningful learning* (bedeutungsvolles Lernen) gegenüber. Letzteres definiert er folgendermaßen:

*“In meaningful learning the learner has a set to relate substantive [...] aspects of new components, information or situations to relevant components of existing cognitive structure in various ways that make possible the incorporation of derivate, elaborative, correlative, supportive, qualifying or representational relationships.”*

(Ausubel 1963, S. 22)

Beim Auswendiglernen hingegen besteht das Ziel darin, bestimmte Inhalte zu internalisieren. Die aufgebauten Wissensbestandteile erweisen sich jedoch häufig als isoliert. Hier besteht ein Zusammenhang mit dem zuvor beschriebenen *trägen Wissen* (s. Kapitel 5.2).

Innerhalb einer kognitivistischen Perspektive spielt das expositorische Lehren eine große Rolle für den Lernerfolg. Die strukturierte und systematisch geplante Darbietung von Wissen

steht im Fokus. Obgleich Ausubel als Vertreter des Kognitivismus betrachtet wird (Reinmann und Mandl 2006), sind für ihn Material oder Lernumgebungen, ganz im Sinne von konstruktivistischen Ansätzen, nie per se, sondern nur potenziell fördernd für ein *bedeutungsvolles Lernen*. Dafür ist laut Ausubel *readiness* notwendig, d.h. eine bestehende Interaktion zwischen der kognitiven Struktur, beziehungsweise Kapazität des Lernenden und den Anforderungen der Aufgabe. (Ausubel 1963).

Laut Novak (1998) sind für das *bedeutungsvolle Lernen* drei Kriterien ausschlaggebend: (1) Lernende müssen über Vorwissen verfügen, welches mit den neuen Informationen verknüpfbar ist. (2) Das Material muss den Bezug zu Konzepten innerhalb der kognitiven Struktur des Lerners ermöglichen. (3) Der Lerner selbst muss seine kognitiven Strukturen mit einbeziehen können und wollen.

Kritisch betrachtet wird heute, dass Ausubel (im Gegensatz zu Jerome Bruner) von einem rezeptiven Lernen ausgeht, d.h. die Lerninhalte werden nicht von den Lernenden selbst entdeckt, sondern von der Lehrkraft dargeboten. Im Zuge dessen wäre der Ansicht von Reinmann und Mandl (2006) nach, mit einer Reduktion der Eigeninitiative, Selbstverantwortung und Motivation seitens der Lernenden zu rechnen. Ebenso wird, wenn eine Lernumgebung sehr geschlossen und inhaltsorientiert geplant ist, eine Anwendung der zu lernenden Inhalte im Alltag eventuell zu wenig berücksichtigt, wodurch sich *träges Wissen* ausbilden könne (Reinmann und Mandl 2006).

## 7.2 Kumulatives Lernen

Dem Erwerb von trägem Wissen innerhalb der deklarativen Wissensstrukturen werden Strategien zum kumulativen Lernen entgegengesetzt, d.h. dass der Lernstoff kohärent und vernetzt sequenziert werden soll. Um in einem bestimmten Wissensgebiet sachkundig zu sein, ist es nicht nur wichtig die Begriffe zu kennen, sondern auch die Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen ihnen zu verstehen (Goldsmith et al. 1991). Einerseits kann dies durch vertikale Verknüpfung erreicht werden, d.h. der Verknüpfung zwischen dem früheren, aktuellen und zukünftigen Lernstoff. Andererseits wird auch eine horizontale Verknüpfung über die Fächer hinweg gefordert. Nach Kattmann (2003) hilft Vernetzung darüber hinaus auch, Kompetenzerlebnisse zu schaffen. Der eigene Lernfortschritt wird durch die Anwendung des Wissens konkret erfahrbar gemacht, wodurch eine Lernmotivation positiv angeregt wird.

In der Schule wird versucht dieser Forderung mit einem Unterricht nachzukommen, der sich an Basiskonzepten (KMK 2004b) orientiert. Bezüglich der vertikalen Vernetzung konnte Wadoux (2007) jedoch in einer Videostudie zur Vernetzung im Biologieunterricht feststellen, dass Zusammenhänge oder Bezüge zu zuvor vermittelten Fachinhalten im gymnasialen Biologieunterricht selten hergestellt werden und insgesamt wenig vernetzt wird. Um Vernetzung bei Lernenden anbahnen zu können, müssen sich Lehrkräfte den inhaltlichen Verknüpfungen bewusst sein. Dies spiegelt sich auch im von Ball et al. (2008) und Loch (2015) beschriebenen *curricularem Wissen* wider.



### 7.3 Conceptual Change-Theorie

Das Modell des *Conceptual Change* (Posner et al. 1982) liegt heute vielen Arbeiten, die Lehr-Lern-Szenarien entwickeln und beforschen, orientierend zugrunde. Aufbauend auf der allgemein geltenden Grundannahme, dass Lernen in Interaktion zwischen dem passiert, was gelernt werden soll und dem, was die Lernenden bereits wissen, wurden sogenannte „scientific misconceptions“ (Posner et al. 1982, S. 211) genauer untersucht. Daraufhin wurde ein Modell entwickelt, wie Konzepte von Lernenden mit neuen inkompatiblen Konzepten interagieren und wie sich Konzepte unter dem Einfluss von außen herangetragenem, neuen Konzepten verändern können. Der Begriff *Change* lehnt sich an Kuhns Idee von wissenschaftlichen Paradigmenwechseln an (Kuhn 1976 [1967]).

Posner et al. (1982) geben Bedingungen an, die erfüllt sein müssen, damit ein neues Konzept von Lernenden als wertvoll erkannt wird. (1) Zunächst muss eine Unzufriedenheit mit dem alten Konzept bestehen. (2) Das neue Konzept muss den Lernenden verständlich und plausibel sein und sich (3) darüber hinaus als fruchtbar für die Erweiterung des Untersuchungsbereichs erweisen. Die persönliche Vorstellungswelt (von Strike und Posner (1992) *Conceptual Ecology* genannt), dient auch zur Erhaltung einer persönlichen Ordnung der Welt. Ein kognitiver Filter verantwortet die Stabilität der alten Vorstellungen. Kognitive Konflikte entstehen der Theorie nach erst dann, wenn Lernenden bewusst wird, dass ihre eigenen Vorstellungen mit neuen wissenschaftlichen Konzepten unvereinbar sind. Es hat sich jedoch gezeigt, dass Alltagsvorstellungen sehr stabil sind und sogar nach dem Unterricht neben fachlich angemessenen Vorstellungen bestehen können (Chinn und Brewer 1993). Es zeigt sich auch, dass Lehrkräfte und Studierende über teilweise ähnliche Alltagsvorstellungen verfügen, wie Schüler\*innen (u.a. Kattmann und Jungwirth 1988; Dreyfus et al. 1990; Duit 2015). Von einem plötzlichen Wechsel der Konzepte kann also nicht ausgegangen werden. Dementsprechend ist auch Kuhns Begriff vom „Change“ strenggenommen nicht mehr haltbar, weil sich laut Kuhn ein altes und ein neues Paradigma *inkommensurabel* zueinander verhalten (Kuhn 1976 [1967]). Da sich der Begriff jedoch innerhalb der Scientific Community etabliert hat, wird er auch in neueren Publikationen verwendet. Dabei schließt der Begriff verschiedenste Lernwege von präinstruktionalen Vorstellung und deren Annäherung an wissenschaftliche Vorstellungen ein (Duit und Treagust 2003).

Die Vorstellungsänderung kann von Lernenden reflektiert werden, wenn sich diese der generellen Falsifizierbarkeit ihres Wissens bewusst sind. Nach diSessa (1988) müssen Lernende dazu angehalten werden, Zusammenhänge zu ihrem eigenen, zum Teil bruchstückhaften Wissen herzustellen. Duit und Treagust (2003) stellen einen Zusammenhang zwischen *Conceptual Change* und dem Konstrukt *Mindfulness* her, welches Salomon und Globerson (1987, S. 623) als „construct which reflects a voluntary state of mind, and connects among motivation, cognition and learning“ definieren. Für einen *Conceptual Change* wird die Bereitschaft der Lernenden, die Aufmerksamkeit und Kontrolle als Bedingung benannt (Duit und Treagust 2003).

Auch Gonzales-Weil (2006) fand einen positiven Zusammenhang zwischen dem Metakognitionsniveau der Lernenden und dem Konzeptwechsel, den diese während des Biologieunterrichts zum Thema "Zelle" vollzogen.

Für konkrete Lehr-Lernsituationen, welche die Theorie des *Conceptual Change* berücksichtigen, müssen daher laut Krüger (2007) die oben ausgeführten Aspekte insofern beachtet werden, dass auch das Lernklima kontrolliert und die emotionalen Bedingungen zum Lernen (z.B. Motivation und Interesse) berücksichtigt werden.

### **Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Im Hochschulbereich besteht laut Gruber et al. (2000) im Allgemeinen schnell die Gefahr, dass sich *träges Wissen* (s. Kapitel 5.2) ausbildet. Träges Wissen kann jedoch dadurch vermieden werden, dass sich Lernende als aktiv in ihrer Wissenskonstruktion begreifen und nicht passiv rezipierend sind. Es werden daher situierte instruktionspsychologische Ansätze vorgeschlagen, mit deren Hilfe die Balance zwischen Konstruktion durch Lernende und Instruktion durch Lehrende hergestellt werden kann (Gruber et al. 2000).

Die Grundlage jeden Lernens ist dabei die Integration von neuen Wissensbestandteilen in ein bereits existierendes Wissensnetzwerk (Ausubel 1963). Dabei kann unter bestimmten Umständen ein *Conceptual Change*, d.h. eine Veränderung der Vorstellungen stattfinden (Posner et al. 1982; Strike und Posner 1992). Es kann jedoch aufgrund der Untersuchungen zu Vorstellungen von Lehrkräften (u.a. Kattmann und Jungwirth 1988) und Studierenden (u.a. Dreyfus et al. 1990) davon ausgegangen werden, dass auch Lehramtsstudierende über Alltagsvorstellungen verfügen.

Als Konsequenz ergeben sich Fragen, wie: Über welche Vorerfahrungen/Vorstellungen verfügen Lehramtsstudierende? Unter welchen Bedingungen ergeben sich Vorstellungsänderungen? Welche Lernumgebungen begünstigen die Konstruktion fachlich angemessener Vorstellungen? Hinsichtlich der Untersuchung der benannten Fragestellungen hält Riemeier (2007) fest, dass einerseits ein Pre-Posttest-Design geeignet ist, um vor allem große Stichproben zu untersuchen und die Häufigkeit bestimmter Vorstellungen zu erfassen. Die qualitativen Änderungen im Lernendenverständnis, die auch im Fokus dieser Studie stehen, machen hingegen eine prozessbasierte Untersuchung (durch Video- oder Audiographie) notwendig. Hierbei können allerdings nur geringe Fallzahlen berücksichtigt werden.

## Methodologischer Hintergrund

### 8 Fachdidaktische Entwicklungsforschung als forschungsmethodologischer Rahmen

*„Es ist kurzsichtig anzunehmen, dass man »Lösungen« für Menschen hat, an deren Leben man nicht teilnimmt und deren Probleme man nicht kennt.“*

(Feyerabend 1979, S. 237)

Mit dieser Aussage fordert Feyerabend eine Reflexivität der Wissenschaft über die Differenz zwischen erklärtem Handlungsmotiv und tatsächlich erfüllter Funktion. Dieser Reflexivität versucht das Forschungsformat Design Research bzw. fachdidaktische Entwicklungsforschung<sup>5</sup> zu begegnen, indem Wissen über die gegenstandsbezogene und systematische Gestaltung von effektiven Lehr-Lernangeboten fundiert werden soll (Prediger 2019).

Entwickelt wurde Design Research einerseits um der wahrgenommenen fehlenden Praxisrelevanz von Lehr-Lernforschung entgegenzutreten (van den Akker et al. 2006b). Andererseits wird der Lehrentwicklung eine fehlende Evidenzbasierung attestiert (Wilhelm 2019). Reinmann und Sensik (2011, S. 16) sehen die Entwicklung von Praxisangeboten innerhalb der „herkömmlichen empirischen Forschung“ – gemeint sind wahrscheinlich deskriptive Erhebungen zur Struktur und Entwicklung von Kompetenz – als „eine Art außerwissenschaftliche Brücke zwischen den Forschungsphasen“. Design Research bietet entgegen dieser Tendenzen die Möglichkeit, empirisch begründete Theorien durch die Beforschung der Lernprozesse und der den Lernprozess fördernden Maßnahmen zu entwickeln (diSessa und Cobb 2004).

Im Folgenden soll die Entwicklung vom Forschungsformat Design Research und aufbauend Fachdidaktische Entwicklungsforschung in ihren Grundzügen und hinsichtlich der Relevanz für diese Arbeit beschrieben werden.

Plomp definiert Design Research folgendermaßen:

*“Design Research [is a program] to design and develop an intervention [...] as a solution to a complex educational problem as well as to advance our knowledge about the characteristics of these interventions and the processes to design and develop them [...]”*

(Plomp 2013, S. 15)

Gemeinsame Grundzüge aller Design Research-affinen Ansätze sind nach van den Akker et al. (2006b) die Folgenden:

*“[D]esign research may be characterized as*

---

<sup>5</sup> Die Begriffe Design Research, Design-Based Research und Fachdidaktische Entwicklungsforschung werden in der Bildungsforschung häufig synonym verwendet (z.B. Prediger und Link 2012; Prediger 2019). Hierunter fallen mehrere Forschungsprogramme, die sich vor allem durch die Gemeinsamkeit eines iterativen Charakters und des Anspruchs zur Theoriebildung auszeichnen. Im Folgenden werden die Begriffe Design Research und Design-based Research synonym verwendet. Die Fachdidaktische Entwicklungsforschung wird hier als Äquivalenzbegriff dem deutschen Sprachraum aber immer im Zusammenhang mit den Dortmunder Modell verwendet.

- *Interventionist: the research aims at designing an intervention in the real world;*
- *Iterative: the research incorporates a cyclic approach of design, evaluation, and revision;*
- *Process oriented: a black box model of input-output measurement is avoided, the focus is on understanding and improving interventions;*
- *Utility oriented: the merit of a design is measured, in part, by its practicability for users in real contexts; and*
- *Theory oriented: the design is (at least partly) based upon theoretical propositions, and field-testing of the design contributes to theory building.“*

(van den Akker et al. 2006a, S. 4)

Design Research lässt sich dabei in zwei Grundströmungen einordnen: Research-Based Design beschreibt ein eher an der Entwicklung von Lösungsvorschlägen für komplexe Probleme ausgerichtetes Programm, wohingegen Design-Based Research in Erweiterung dazu Augenmerk auf die Entwicklung und Validierung lokaler Theorien legt. (Plomp 2013)

Innerhalb von Design Research-Studien wird vor allem die Bedeutung der Iteration betont. Hinsichtlich dessen beschreibt Plomp:

*“It is therefore – like all systematic educational and instructional design processes - cyclical in character: analysis, design, evaluation and revision activities are iterated until an appropriate balance between ideals (‘the intended’) and realization has been achieved.”*

(Plomp 2013, S. 17)

Es werden dabei mindestens zwei Iterationen von Problemanalysen, Entwicklungen, Lösungsevaluationen und Revision durchlaufen (Reinmann 2014).

Allerdings ist nicht jede Form von iterativer Entwicklung von Lernangeboten gleich Design Research. Plomp (2013) hebt hierzu den Unterschied zu einem bloßen systematischen iterativen Design-Prozess hervor. Dieser besteht für ihn im Einbezug von Theorien für die Entwicklung von Designs und die Generierung von Theorien. Bezüglich der hervorgehobenen Bedeutung von Theorien für den Forschungsprozess fassen diSessa und Cobb folgendes zusammen:

*“[Theories] embody generalization, bringing order to a vast array of seemingly disparate phenomena that come to be seen as special cases of some theory. They encapsulate the most secure of our knowledge claims at any stage of scientific advance. They enable us to discriminate between relations that are necessary and those that are contingent. They delineate classes of phenomena that are worthy of inquiry and specify how to look and what to see in order to understand them.”*

(diSessa und Cobb 2004, S. 79)

Für fachdidaktische Forschungskontexte wurde Design Research vor allem durch die Arbeitsgruppe um Susanne Prediger als sogenannte *Fachdidaktische Entwicklungsforschung* nutzbar gemacht. Auch Prediger (2015) hebt den starken Theoriebezug hervor, indem Fachdidaktische Entwicklungsforschung einerseits *theoriebasiert* und andererseits *theorieentwickelnd* ist. Die Generierung von präskriptiven Theorieelemente zum zielerreichenden Handeln steht im Vordergrund. Es werden dabei Fragen beantwortet wie: Was muss man tun, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen? Oder: Welche Bedingungen sind dabei zu beachten? Dabei ist das Ziel gegeben und die Theorie dient zur Findung adäquater Mittel. Im Gegensatz dazu geht es bei der Generierung von deskriptiven Theorieelementen eher um ein differenzierendes Wahrnehmen und Beschreiben von Phänomenen und deren Beziehungen (Prediger 2015).

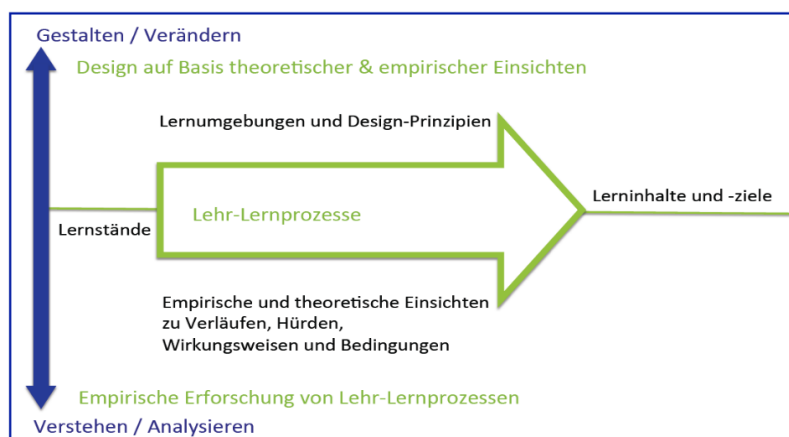


Abbildung 6 Ziele, Arbeitsbereiche und Gegenstände fachdidaktischer Entwicklungsforschung (Prediger und Link 2012, S. 29)

Das Zusammenspiel von Forschung und Entwicklung gilt als große Stärke von Studien im Format der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung. Im Zentrum solcher Studien steht das Verstehen und Analysieren von Lernständen und -prozessen innerhalb eines Forschungsprozesses aber auch das Gestalten und Verändern von Lehr-Lernarrangements innerhalb des Design-Entwicklungsprozesses (s. Abbildung 6, vertikaler Pfeil links). Hervorzuheben sind in jedem Fall (was auch die fachdidaktische Entwicklungsforschung von der Wirkungsforschung unterscheidet), dass die Lernprozesse (und nicht nur die Lernstände vor und nach einer Intervention) im Fokus des Forschungs- und Entwicklungsprozesses stehen (s. Abbildung 6, horizontaler Pfeil Mitte).

Das dem Dortmunder Modell (s. Abbildung 7) zugrunde gelegte Verständnis von Entwicklungsforschung knüpft an Gravemeijer und Cobb (2006) im Sinne einer *Prozessorientierung* an. Weiterhin ist auch die *Gegenstandsorientierung* in Bezug auf die Strukturierung von Fachinhalten von zentraler Bedeutung (Prediger et al. 2012). Das ausgewiesene Forschungsziel ist dabei stets die:

*„Generierung und Weiterentwicklung gegenstandsspezifischer Theorien zu Lernständen und Lerninhalten, zu Verläufen, Hürden, Wirkungsweisen und Bedingungen bei spezifischen fachlichen Lerngegenständen.“*

(Prediger und Link 2012, S. 29)

Hinsichtlich des Entwicklungsziels kann festgehalten werden, dass die durch die Fachdidaktische Entwicklungsforschung gewonnenen Erkenntnisse nicht auf der Ebene didaktischer Prinzipien stehen bleiben, sondern in sorgfältig ausgearbeitete und optimierte Lernumgebungen in Form von „Prototypen“ (Gravemeijer 2010) eingebettet werden. (Prediger und Link 2012)

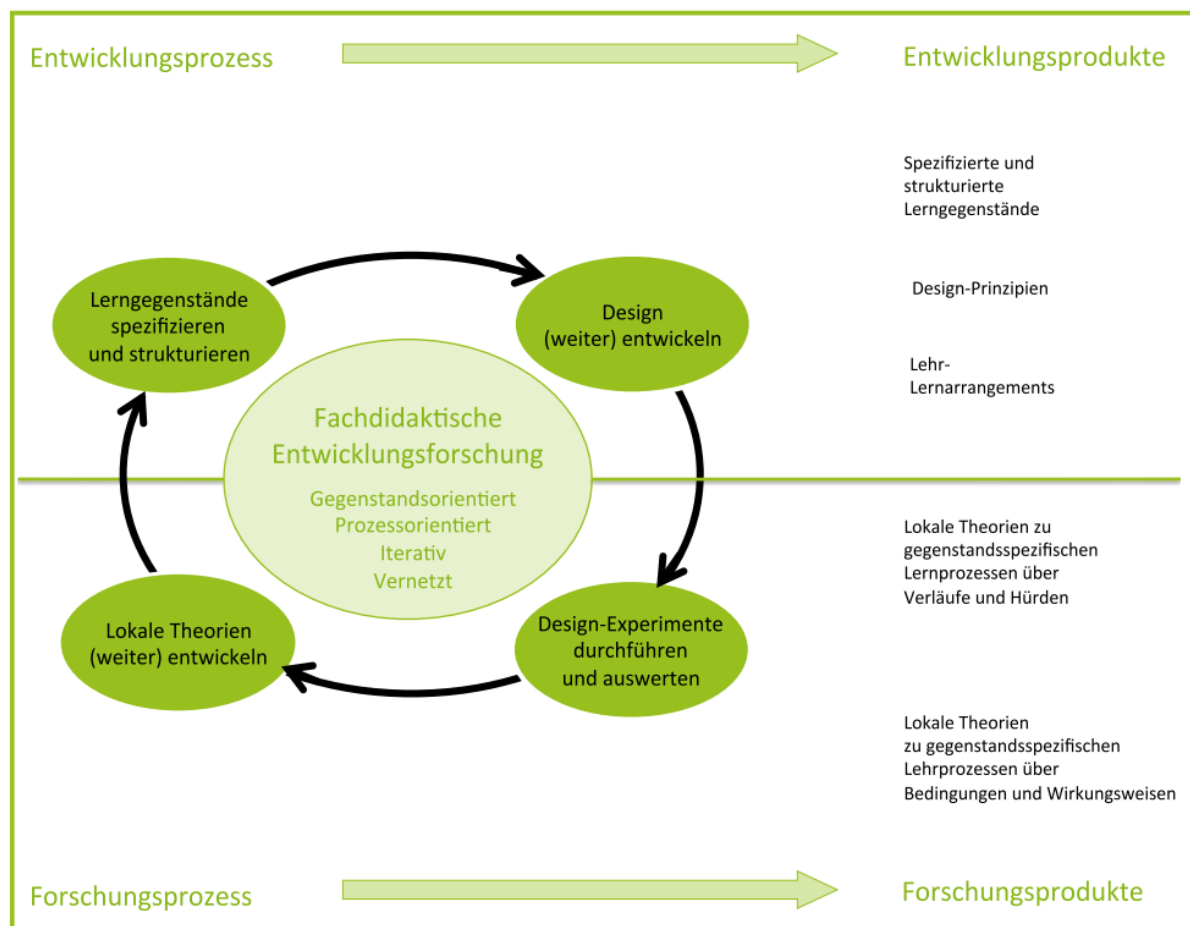


Abbildung 7 Zyklus der fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Prediger et al. 2012, S. 454)

Der für diese Studie große Vorteil des Dortmunder Modells, ist die klare Strukturierung der einzelnen Forschungs- und Entwicklungsschritte in Form von Arbeitsbereichen (s. Abbildung 7, Kreis mit Pfeilen). Im Folgenden werden die Arbeitsbereiche des Dortmunder Modells<sup>6</sup> in ihren Grundzügen anhand der Ausführungen von Prediger et al. (2012) skizziert.

### Arbeitsbereich 1 Lerngegenstände spezifizieren

Innerhalb der Spezifizierung des Lerngegenstands wird der fachliche Gegenstand aus epistemologischer und fachdidaktischer Perspektive spezifiziert. Dabei werden Theorien mit einbezogen. Wie weit der theoretische Einbezug gehen soll, ist bisher noch nicht geklärt.

<sup>6</sup> Das Dortmunder Modell wurde in jüngerer Zeit konkret für Design Research-Projekte, die sich der Professionalisierung von Lehrkräften widmen, adaptiert (Prediger 2019). Dieses neue Modell bezieht sich primär auf Lehrkräftefortbildungen, kann allerdings auch auf das Lehramtsstudium übertragen werden. Es wurde auf das generelle Ansinnen hin entworfen, dass auch Gegenstände und Inhalte von initiierten Professionalisierungsprozessen innerhalb einer transparenten Deduktion ausgewählt und forschungsbasiert und zielgruppenspezifisch modifiziert werden müssen (Prediger et al. 2015). Da das adaptierte Modell allerdings im Zeitraum der Planungs-, Durchführungs- und Auswertungszyklen der hier vorgestellten Studie noch nicht vorlag, wird sich auf das „allgemeine“ Dortmunder Modell zur fachdidaktischen Entwicklungsforschung (Prediger und Link 2012) bezogen. Des Weiteren weist das Modell für die Professionalisierung (Prediger 2019) eine hohe Übereinstimmung mit dem originären Dortmunder Modell für Lernprozesse im Allgemeinen auf. Statt den allgemeinen Lernprozessen wird sich jedoch hier auf Professionalisierungsprozesse bezogen. Prediger et al. (2015) weisen zudem darauf hin, dass das Dortmunder Modell auch für Lernprozesse von Studierenden Anwendung finden kann.

Einer Einteilung von diSessa und Cobb (2004) folgend, werden große Theorien von kognitiven und sozialen Prozessen (z.B. Piaget's Theorie der Kognitiven Entwicklung) und theoretische Orientierungsrahmen (z.B. Konstruktivismus) in einem geringeren Detaillierungsgrad beschrieben, da ihr Wert eher darin liegt, grundsätzliche Perspektiven bezüglich Lehren und Lernen einzunehmen. Genauer eingegangen sollte hingegen auf Theorien die bedeutsam für die Instruktionen sind (für diese Arbeit z.B. Theorie des Bedeutungsvollen Lernens) und fachspezifische Theorien (für diese Arbeit z.B. Modell der Didaktischen Rekonstruktion). Durch sie können die Instruktionen spezifiziert werden.

Wie auch innerhalb der Didaktischen Rekonstruktion (Kattmann et al. 1997) werden unter Einbezug der Theorie gegenstandsübergreifende Bildungsziele und gegenstandsspezifische Lernziele unter Berücksichtigung der Lernendenperspektiven spezifiziert. Im adaptierten Modell für die Professionalisierungsforschung spricht Prediger (2019) von teilnehmenden-orientierter Spezifizierung des Professionalisierungsgegenstandes. Oftmals sind für den jeweils untersuchten Gegenstandsbereich die Lernendenperspektiven noch nicht erfasst. In diesem Fall werden diese erst in einem späteren Iterationsschritt einbezogen. Konkret geht es in diesem Arbeitsbereich um die Identifikation relevanter Kontexte und Lernanlässe sowie um die geeignete Sequenzierung der Inhalte unter Berücksichtigung der Lernendenperspektiven. Dabei sind stoffbezogene Design-Prinzipien (z.B. Alltagsorientierung) leitend, die ebenfalls in einem späteren Iterationsschritt mit einbezogen werden können. Die Leitfragen für den Arbeitsbereich 1 „Lerngegenstände spezifizieren“ sind die folgenden:

- *„Was soll überhaupt gelernt werden und mit welchen Schwerpunktsetzungen?*
- *Welche Bildungsgehalte sind bei der Formulierung der Themen zu akzentuieren?*
- *Wie muss der Lerngegenstand genau konstruiert werden, um eine adäquate Vermittlung zwischen fachsystematischer und individueller Perspektive zu ermöglichen?*  
[...]
- *Durch welche Kontexte, Anschauungen oder Perspektiven können lernförderliche Anknüpfungspunkte an die Vorerfahrungen der Lernenden gefunden werden?*
- *Auf welche Weise muss der Lerngegenstand selbst ggf. verändert bzw. neu strukturiert werden, damit er erlernbar wird?*
- *Welche Sequenzierung in Teilgegenstände ermöglicht nach welchen Design-Prinzipien Lernpfade, die für viele Lernende zugänglich sind?“*

(Prediger et al. 2012, S. 455)

Die letzten drei Leitfragen beziehen sich auf die Re-Analyse des Lehr-Lerngegenstandes nach erfolgtem Zyklus oder erfolgten Zyklen.

### Arbeitsbereich 2 Design (weiter)entwickeln

Bei der Design(weiter)entwicklung wird die Strukturierung des Lerngegenstands verknüpft mit den konkreten Aktivitäten, verwendeten Medien und Methoden. Dies erfolgt im Zusammenspiel mit Unterstützungsstrukturen hinsichtlich identifizierter Hürden im Lernprozess. Die gegenstandsspezifische Konkretisierung von Design-Prinzipien ist zentraler Teil dieses Arbeitsbereiches und fordert Kreativität seitens des Forschenden. Euler schlägt einen didaktischen Bezugsrahmen (s. Abbildung 8) zur Entwicklung von Design-Prinzipien vor.

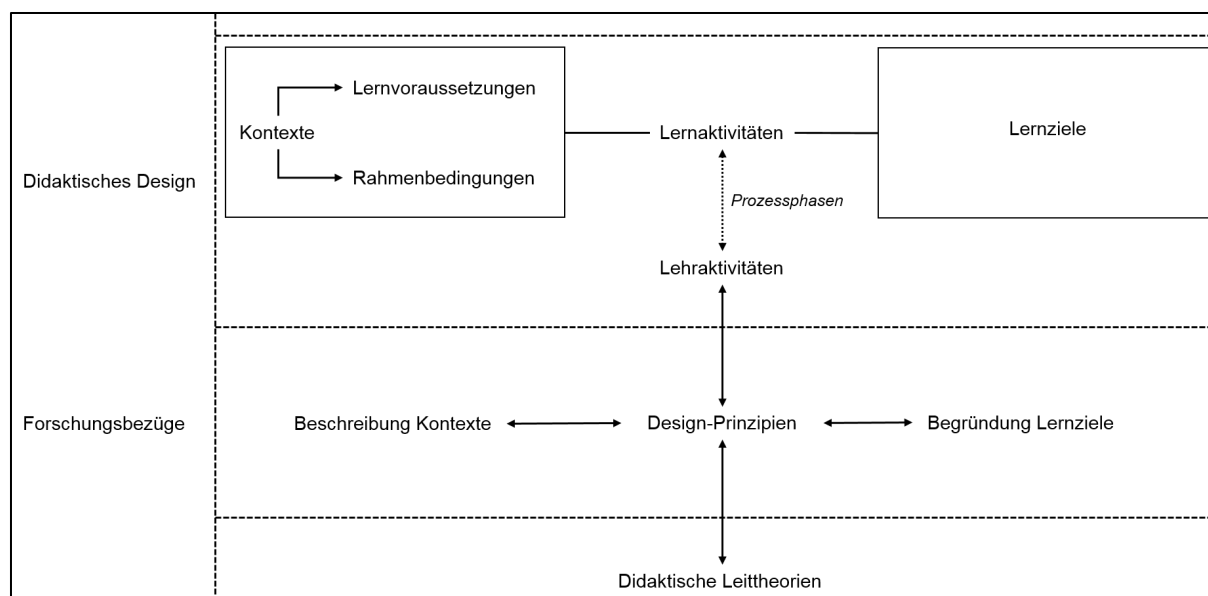


Abbildung 8 Didaktischer Bezugsrahmen zur Entwicklung von Design-Prinzipien (nach Euler 2014, S. 106)

Darin werden, ähnlich wie auch im Dortmunder Modell (s. Abbildung 7) didaktisches Design (entspricht Entwicklungsprozess im Dortmunder Modell) und Forschungsbezüge (entsprechen Forschungsprozess im Dortmunder Modell) hervorgehoben. Die Lernaktivitäten werden entsprechend der Kontexte und Ziele beschrieben. Daraus werden die Lehraktivitäten entwickelt. Durch die Erprobung von Lehr-Lernaktivitäten werden schließlich Design-Prinzipien formuliert und weiterentwickelt. Diese Design-Prinzipien lassen sich potenziell in den Korpus didaktischer Theorien integrieren. Das Dortmunder Modell hebt zusätzlich zu dem von Euler (2014) vorgeschlagenen Bezugsrahmen vor allem die Iteration hervor, mit der Design Prinzipien (weiter)entwickelt werden. Weiterhin wird im Dortmunder Modell auf die (Weiter)Entwicklung lokaler Theorien abgezielt und weniger auf die Einbettung in didaktische Leittheorien. Somit wird im Dortmunder Modell der theoriebildende Charakter des Forschungsformats gestärkt.

Prediger et al. (2012) betonen, dass wenn bezüglich des Lerngegenstands auf wenig fachdidaktische Vorarbeiten zurückgegriffen werden kann, die Arbeit umso explorativer ist. Die Leitfragen für den Arbeitsbereich 2 „Design (weiter)entwickeln“ sind die folgenden:

- „Welche Lernaktivitäten sollen nach welchen Design-Prinzipien mit welchen Aufgabenstellungen für welche Ziele initiiert werden?“
- Mit welchen Lehr-Lernmitteln können die Prozesse unterstützt werden? (durch Iteration zu beantworten)
- Wie können typische Hürden auf den Lernpfaden der Schüler\*innen umgangen oder überwunden werden? (durch Iteration zu beantworten)“

(Prediger et al. 2012, S. 456)

Im Hinblick auf die Professionalisierung von Lehrkräften formulieren Prediger et al. (2015, S. 338) für die Arbeitsbereiche 1 und 2 weiterhin fünf Schritte: (1) die theoretische und (2) empirische Einbettung des Professionalisierungsgegenstands, (3) die empirische Rekonstruktion der Perspektiven von Lehrkräften zum Professionalisierungsgegenstand, (4) die Auswahl der Inhalte aufgrund wahrgenommenen Antinomien und (5) die Entwicklung eines iterativen Designs zur Förderung des Professionalisierungsgegenstands. Auch hier wird das Ineinandergreifen der Arbeitsbereiche dadurch deutlich, dass innerhalb jedes Arbeitsbereichs Ergebnisse der vorherigen Zyklen einbezogen werden.



### Arbeitsbereich 3 Design-Experimente durchführen und auswerten

In Anlehnung an Cobb et al. (2003) sind Design-Experimente mehrfache exemplarische Erprobung von Lehr-Lernarrangements mit Lernenden, um zu untersuchen, welche Lernprozesse tatsächlich durch sie initiiert werden und inwieweit diese mit den intendierten Lernzielen übereinstimmen. Dies gilt insbesondere für die später durchgeführten Zyklen. Der erste durchgeführte Zyklus dient den Forschenden zur Orientierung und Einschätzung hinsichtlich der generellen Tragfähigkeit der ausgearbeitet Strukturierung, Materialien und Aufgabenstellungen.

Bei der meist qualitativen Auswertung der Design-Experimente kommen unterschiedliche Forschungsmethoden (Interviewstudien, Video-Analysen, etc.) und Auswertungsmethoden (Qualitative Inhaltsanalyse, Dokumentarische Methode, etc.) zum Tragen. Die Methodenwahl zeichnet sich einerseits durch eine Offenheit hinsichtlich der Kombination von Methoden und andererseits durch ein regelgeleitetes Vorgehen innerhalb der Methode und genauer Dokumentation im Einzelnen aus.

Ein Unterschied zu affinen Ansätzen, wie der Aktionsforschung oder Design Research stellt die Tatsache dar, dass innerhalb der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung Design-Experimente häufig nicht im regulären Unterricht, sondern in Laborsituationen mit Kleingruppen stattfinden. Die Design-Experiment-Leitung ist dabei häufig zugleich in lehrender und forschender Funktion tätig. Die Dokumentation der Erprobungen des Materials und der Lernaufgaben in den Design-Experimenten und die Darlegung des Entwicklungsprozesses im Projektverlauf bilden jedoch die Grundlage für einen Transfer in die breitere Lehr-Lernpraxis (Prediger et al. 2012).

### Arbeitsbereich 4 Lokale Theorien zu Lehr-Lernprozessen (weiter)entwickeln

Gerade in der Ergebnisdarstellung ergeben sich bei Design Research-Studien praktische Herausforderungen. So merkt Reinmann (2016) an, dass es für die Darstellung von Design Research-Vorhaben noch keine bewährten Konventionen gibt es. Die Beschreibung einer komplexen Forschung mit einer iterativen Struktur könne auf vielfältige Weise erfolgen: z.B. chronologisch, thematisch, vollständig oder exemplarisch.

Die fachdidaktische Entwicklungsforschung versucht sich dieser Herausforderung zu nähern, indem Ergebnisse größtenteils thematisch und exemplarisch für die jeweiligen Iterationen beschrieben werden. Die durch die Auswertung der Design-Experimente gewonnenen Ergebnisse hinsichtlich der Lernprozesse tragen maßgeblich zu einer empirisch gestützten, lokalen Lehr-Lerntheorie bei. Diese Theorie zeigt mögliche Verläufe, (typische) Hürden und Wirkungen der einzelnen Aufgabenstellungen und Unterstützungsmittel auf. Diese Erkenntnisse werden bei den folgenden Zyklen mit einbezogen, weiter ausdifferenziert und zunehmend empirisch abgesichert.

Durch Fallvergleiche können die verallgemeinerbaren Anteile herausgearbeitet werden (Kelle & Kluge 1999). Hinsichtlich der Übertragbarkeit auf andere (themenverwandte) Gegenstände berichten Prediger und Link (2012, S. 34–35) limitierend, dass weder Design noch Theorien im Ganzen übertragbar sind. Der Entstehungskontext der Fallstudien kann nie völlig transzendiert werden – Die Theorie bleibt ganz bewusst gegenstandsspezifisch

(Prediger et al. 2012). Dennoch können stets einige Grundsätze ausgemacht werden, die weitgehend übertragbar sind, jedoch für die neue Gegenstände weiter ausdifferenziert werden müssen (Prediger und Link 2012).

**Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Zusammenfassung: Das Dortmunder Modell für Fachdidaktische Entwicklungsforschung beschreibt ein Zusammenspiel von Forschung und Entwicklung. Das Ziel ist einerseits entwickelte, erprobte und erforschte Lehr-Lernarrangements und übertragbare Design-Prinzipien bereitzustellen. Andererseits wird zur lokalen Theoriebildung, bzw. Theoriweiterentwicklung beigetragen.

Die durch die Fachdidaktische Entwicklungsforschung entwickelten Prototypen von Lernumgebungen und Materialien können im Hochschulkontext für die weitere Lehre genutzt werden. Die Wirkungsweisen sind dabei für einen lokalen Kontext bekannt.

Es existieren bisher wenige Studien über den Einsatz von Design Research oder Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Kontext der Professionalisierung angehender Lehrkräfte. Es stellt sich daher die Frage der Übertragbarkeit des Modells auf den Hochschulkontext und insbesondere auf die Beforschung von Lehrveranstaltungen innerhalb des Studiums angehender Lehrkräfte.

## 9 Didaktische Rekonstruktion als Leitlinie für die Konstruktion von Lerngelegenheiten

Der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsformat oder als Planungshilfe für den Unterricht liegen eine Vielzahl von Theorien zugrunde. Unter anderem werden von Kattmann et al. (1997) die Didaktische Analyse (Klafki 1964) das Berliner Modell (Heimann et al. 1979) und Überlegungen zur „Elementarisierung“ (Bleichroth 1991) genannt. Gropengießer (1997) legte dem Modell zusätzlich die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Lakoff und Johnson 2014 [1980]) zugrunde, welche im Folgenden kurz beschrieben werden soll. Die Theorien des erfahrungsbasierten Verstehens geht davon aus, dass unsere Sprache, unser Denken und dementsprechend auch unser Verstehen metaphorisch strukturiert sind (Gropengießer 2007).

*„Eine Metapher ist eine einseitige Übertragung der begrifflichen Struktur des Ursprungsbereichs auf den Zielbereich. Meist begreifen wir mit der gedanklichen Struktur eines relativ konkreten Bereichs einen relativ abstrakten Bereich.“*

*(Gropengießer 2007, S. 107).*

Obleich auch in wissenschaftlichen Kontexten durchaus imaginative Sprache eingesetzt wird, äußert sich ein metaphorisches Verständnis meist im alltäglichen Sprachgebrauch. Abstrakte Wissensbereiche können durch vielfältige Metaphern von Menschen entsprechend verstanden werden. Dies drückt sich im Fachbegriff „Metaphern-Pluralismus“ (Gropengießer 2007, S. 108) aus. Wie auch Modelle heben Metaphern nur einzelne Aspekte eines abstrakten Gegenstandsbereichs hervor – andere hingegen werden vernachlässigt.

Gropengießer (2007) beschreibt, dass Erfahrungen aus Interaktionen zwischen Organismus und Umwelt entstehen. Es werden neuronale Verknüpfungen verändert und daraus erwachsen letztendlich Begriffe und Schemata auf der mittleren Abstraktionsebene der Basiskategorien, die direkt verstanden werden können. Basiskategorien sind die höchste Stufe, auf der noch ein einziges Vorstellungsbild die gesamte Kategorie repräsentieren kann (z.B. ‚Hammer‘ als Basiskategorie im Gegensatz zu ‚Werkzeug‘ als übergeordnete Kategorie). Durch die Interaktion des Körpers mit der Umwelt, werden diese Begriffe und Schemata als verkörpert (engl. embodied) bezeichnet (Lakoff und Johnson 2014 [1980]). Die Metaphern äußern sich demnach häufig auf der Ebene der Basiskategorien und bieten einen erleichterten Zugang zum Verstehen eines abstrakten Sachverhalts (s. Abbildung 9).

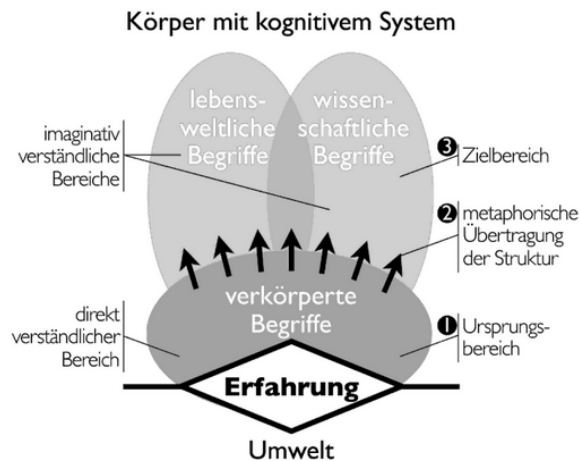


Abbildung 9 Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (Gropengießer 2007; nach Lakoff und Johnson 2014 [1980])

Die Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens stellt die theoretische Grundlage für die *Rekonstruktion von Lernendenvorstellungen*<sup>7</sup> dar – Einer Teilaufgabe im Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Diese Teilaufgabe greift mit den Aufgaben der *Fachlichen Klärung* und der *Didaktischen Strukturierung* wechselseitig ineinander, worin auch die Interdependenz fachlicher und didaktischer Aspekte deutlich wird (Kattmann et al. 1997). Die Grundannahme hinter diesem Modell ist jene, dass sich die Sachstruktur des Unterrichts von der Sachstruktur der Wissenschaftsdisziplin unterscheidet und von Forschenden und Lehrkräften rekonstruiert werden müsse (Duit 2004).

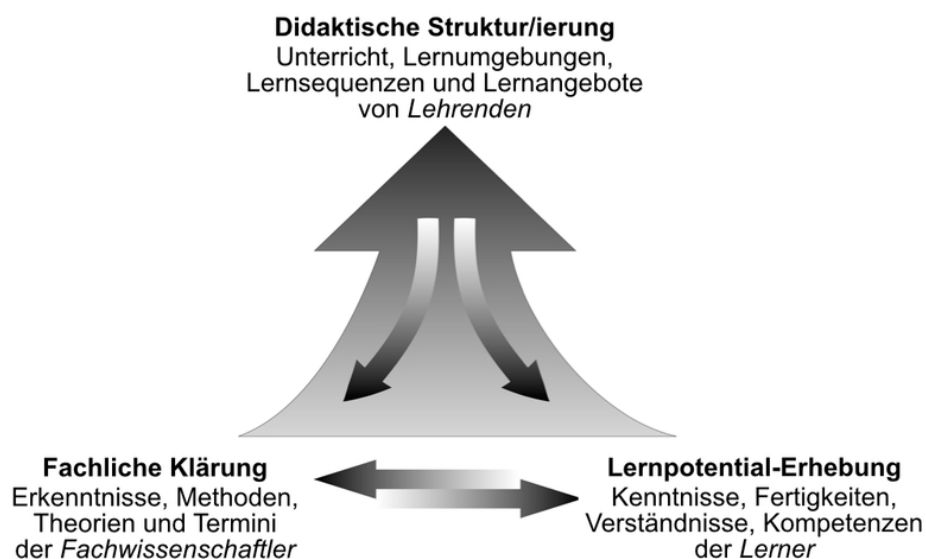


Abbildung 10 Modell der Didaktischen Rekonstruktion: Beziehungsgefüge der Teilaufgaben (Gropengießer und Kattmann 2016b)

Die Fachliche Klärung wird im Forschungsprogramm der Didaktischen Rekonstruktion als hermeneutische Analyse der fachlichen Vorstellungen über die Sachstruktur bezeichnet. Dazu dienen einschlägige Lehrbücher als Quelle, die durch die Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse (Gropengießer 2008) unter Vermittlungsabsicht untersucht werden. Folgende Fragen sind dabei zu beantworten:

<sup>7</sup> Im ursprünglichen Modell wird von Schülervorstellungen gesprochen

- „Welche fachwissenschaftlichen Aussagen liegen zu dem jeweiligen Bereich vor, und wo zeigen sich deren Grenzen?
- Welche Genese, Funktion und Bedeutung haben die wissenschaftlichen Vorstellungen, und in welchem Kontext stehen sie?
- Welche wissenschaftlichen und epistemologischen Positionen sind erkennbar?
- Wo sind Grenzüberschreitungen sichtbar, bei denen bereichsspezifische Erkenntnisse auf andere Gebiete übertragen werden?
- Welche ethischen und gesellschaftlichen Implikationen sind mit den wissenschaftlichen Vorstellungen verbunden?
- Welche Bereiche sind von einer Anwendung der Erkenntnisse betroffen?
- Welche lebensweltlichen Vorstellungen finden sich in historischen und aktuellen wissenschaftlichen Quellen?“

(Kattmann 2007, S. 95)

Weiterhin wurden auch Teilaufgaben zur Fachlichen Klärung ausdifferenziert (Gropengießer et al. 2016) (s. Abbildung 11). Auch hier wird die Verschränkung der Arbeitsbereiche (besonders durch die Teilaufgaben 3 und 5) augenscheinlich.

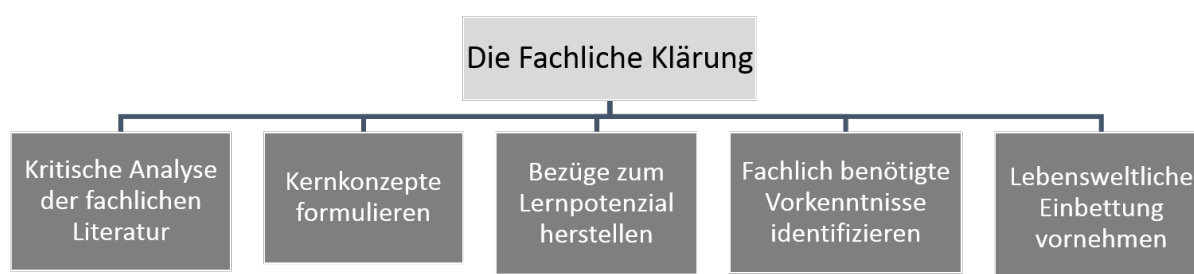


Abbildung 11 Teilaufgaben zur fachlichen Klärung (verändert nach Gropengießer et al. 2016)

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion kann allerdings auch als Planungshilfe für den Unterricht dienen (Duit 2004; Reinfried et al. 2009; Duit et al. 2012). Durch die Fachliche Klärung wird der Unterrichtsinhalt auf seine elementaren Ideen (die tragenden Grundbegriffe) hin analysiert. Reinfried et al. (2009) machen eine Abgrenzung von der Didaktischen Reduktion deutlich, bei der (den Autoren nach) meistens eine Vereinfachung im Vordergrund steht. Hier sei angemerkt, dass es sich auch bei einer Didaktischen Reduktion nicht um eine bloße Vereinfachung des zu vermittelnden Inhalts handelt, sondern es durchaus Unterscheidungen hinsichtlich der Form der didaktischen Reduktion gibt. So bleibt z.B. bei einer horizontalen Didaktischen Reduktion der Gültigkeitsumfang der fachlichen Aussage unverändert – wobei sich die Darstellungsform adressatengemäß ändert (Grüner 1967).

Betrachtet man das Modell der Didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen zeigen sich viele Gemeinsamkeiten mit dem Forschungsformat der fachdidaktischen Entwicklungsforschung. Augenscheinlich tritt die adressatengemäße Entwicklung von Lehr-Lernumgebungen auf Grundlage von Lernendenperspektiven als Gemeinsamkeit hervor. Unterschiede zeigen sich jedoch im Hinblick auf die gewonnenen Ergebnisse, die im Fokus der Arbeiten im jeweiligen Forschungsformat stehen: Für Forschungsarbeiten, die sich an das Modell der didaktischen Rekonstruktion anlehnen, sind die rekonstruierten Lernendenvorstellungen zentrales Forschungsergebnis, wohingegen bei Forschungsarbeiten im Format der fachdidaktischen Entwicklungsforschung Lernprozesse und der Umgang von Lernenden mit Lernumgebungen zentrales Forschungsergebnis ist.

Auch das Vorgehen im Forschungsprozess unterscheidet sich bei beiden Modellen: Im Modell der Didaktischen Rekonstruktion wird von einem *rekursiven* Vorgehen ausgegangen, wohingegen in der fachdidaktischen Entwicklungsforschung ein *iterativer* Ansatz verfolgt wird.

### **Zusammenfassung, Implikationen für die Lehre an Hochschulen und Desiderata**

Aus der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens ergeben sich laut Gropengießer (2007) Implikationen für die Forschung, die sich vor allem im Hinblick auf diese Studie folgendermaßen darstellen: Die Intervention muss Raum geben, die verfügbaren metaphorischen Verständnisse zu diesem Wissensbereich zu äußern. Ebenfalls sollten bei der Auswertung auftauchende Metaphern in den Blick genommen werden. Mit einer bereichsübergreifenden Interpretation der Befunde können themenrelevante Denkwege und Lernhindernisse verallgemeinert werden.

In dieser Arbeit wird sich im Hinblick auf die Forschungsfragen und das abgeleitete Forschungsdesign an die fachdidaktische Entwicklungsforschung angelehnt. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion dient hingegen eher als Inhalt der Lernumgebung und (neben dem *erweiterten Fachwissen für den schulischen Kontext*) als Leitlinie für die Konzeption von Lernaufgaben (s. Kapitel 12).

Für die Professionalisierung von Lehrkräften stellt sich die Frage nach Lerngelegenheiten, um die Teilaufgabe der fachlichen Klärung erfolgreich bewältigen zu können. Neuere Forschungsarbeiten nehmen sich diesem Desiderat an (Heidenreich und Gropengießer 2017). Dennoch bleibt die Frage offen, ob das Wissen und die Fähigkeiten zur Durchführung einer fachlichen Klärung, bei Studierenden gefördert werden können, die noch nicht auf elaboriertes fachdidaktisches Wissen zurückgreifen können. Das Modell der Didaktischen Reduktion geht davon aus, dass die fachliche Klärung immer in Zusammenspiel mit Lernendenvorstellungen und didaktischer Strukturierung gedacht werden muss (rekursives Vorgehen). Die hier vorgestellte Studie geht davon aus, dass eine berufsbezogene Vermittlung oder vielmehr Wiederholung von Fachinhalten zu frühem Zeitpunkt des Studiums zielführend ist. In Lernumgebung können fachdidaktische Kontexte geschaffen werden, die bei Studierenden fehlendes fachdidaktisches Wissen (z.B. Wissen über Schülervorstellungen, Wissen über Schülerkognition oder Wissen über curriculare Anordnung von Inhalten) bereitstellen. Darüber hinaus sollte mit authentischen Materialien (z.B. Schulbücher) gearbeitet werden. Dadurch wird der Berufsbezug bei der Auseinandersetzung mit den Fachinhalten für die Studierenden augenscheinlich.

## 10 Zentrale Fragestellungen

Aus dem theoretischen Hintergrund und den hergeleiteten Desideraten ergeben sich für diese Arbeit folgende Fragestellungen:

FF1

Wie kann eine Lerngelegenheit für Lehramtsstudierende der Biologie gestaltet sein, um ein *erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext* für den zellbiologischen Themenbereich „Struktur und Funktion der Biomembran“ zu fördern?

Diese Art Fragestellungen sind zentral für Design Research Studien. Die Fragestellung ist der gesamten Studie übergeordnet. Einzelne Teilergebnisse fügen sich zu einem Gesamtbild zusammen. Als zentrales weitgehend generalisierbares Entwicklungsergebnis werden Design-Prinzipien formuliert, nach denen Lehrveranstaltungen, die erfolgreich *erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext* fördern, konzipiert werden können. Als theoriegenerierendes Ergebnis können Hinweise zur Ausgestaltung des *erweiterten Fachwissens* als leitendes Konstrukt für fachliche Anteile des Lehramtsstudiums gewonnen werden. Folgende Fragestellung sind dieser Gesamtfragestellung untergeordnet:

FF1.1

Welches Wissen über Zellbiologie (Schulwissen, universitäres Wissen) wenden Studierende bei der Bearbeitung der Aufgaben an und inwiefern findet eine Verknüpfung dieser beiden Wissenskategorien statt?

Im Zuge dieser Fragestellung soll geklärt werden, inwiefern es den Studierenden gelingt, in der Universität erworbene Wissensbestände mit dem Schulwissen zu verknüpfen. Diese Fähigkeit ist zentral für die Anwendung von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext*.

FF1.2

Auf welche Weisen entwickeln sich Studierendenkonzepte durch die Auseinandersetzung mit den Lernaufgaben der Lehrveranstaltung?

Diese Forschungsfrage fokussiert auf die lernprozessbasierte Untersuchung der Konzeptentwicklung bei Studierenden. Über die Lerngelegenheiten hinweg werden Design-Experimente durchgeführt, die Auskunft über den Umgang der Studierenden mit fachlichen Konzepten zum Themenbereich „Struktur und Funktion der Biomembran“ geben. Hierfür werden vor allem Video-/Audiographien der kooperativen Lerngelegenheiten herangezogen.

FF1.3

Inwiefern entwickelt sich die wahrgenommene Berufsrelevanz fachlicher Inhalte im Verlauf des Lehr-Lernarrangements?

Diese Fragestellung ist vor allem aus motivationspsychologisch Gründen interessant. Wie bereits oben dargestellt (s. Kapitel 5.4) kann eine als unzureichend wahrgenommene Berufsrelevanz der Studieninhalte, zu einer geringen Studienmotivation, zu einer niedrigeren Anstrengungsbereitschaft und in der Konsequenz auch zu Studienabbruch führen. Von daher wird der Frage nachzugehen, ob innerhalb des Erhebungszeitraums Änderungen hinsichtlich der wahrgenommenen Berufsrelevanz von fachlichen Inhalten seitens der Studierenden auftreten.

# Designrahmen

## 11 Spezifizierung des fachlichen Lerngegenstands

Innerhalb dieses Kapitels wird zunächst der fachliche Gegenstand anhand einschlägiger Lehrbücher beschrieben. Anschließend wird aufgezeigt, wie im Rahmen dieser Studie das Schulwissen und das universitäre Wissen bezüglich des fachlichen Gegenstands bestimmt wurden. Zum Schluss werden die durch die Literatur bereits beschriebenen Lernendenvorstellungen zum fachlichen Gegenstand dargestellt

### 11.1 Beschreibung des fachlichen Gegenstands

Das Thema „Struktur und Funktion der Biomembran“ spiegelt sich in mehreren Fachgebieten wider. Membranen sind integrale Bestandteile von Zellen, deshalb sind sie vor allem in der Disziplin der Zellbiologie von zentralem Interesse. Weiterhin beschäftigt sich das Fachgebiet der Biochemie u.a. mit der molekularen Zusammensetzung der Biomembran und die daraus resultierenden Eigenschaften. Innerhalb der Physiologie spielen vor allem Transportprozesse über die Biomembran und die Biomembran als Gerüst für biochemische Aktivität und Energieumwandlung eine Rolle.

Für die folgenden Ausführungen werden als Quellen vor allem grundständige Lehrbücher der Zellbiologie (u.a. Kleinig und Sitte 1984; Alberts und Graw 2012; Lodish et al. 2001) herangezogen. Dies hat mit dem Eigenverständnis der Zellbiologie als „fachübergreifende allgemeine Biologie auf zellulärem Niveau“ zu tun, die eine „dialektische Verknüpfung von Struktur und Funktion oder in anderen Worten von Raum und Zeit“ (Kleinig und Sitte 1984, Geleitwort von Hans-Georg Schweiger) darstellt. In diesem Sinne scheint vor allem die Zellbiologie einen angemessenen Zugang zu den für die Lehrveranstaltung relevanten Inhalten zu bieten. bei den folgenden Beschreibungen werden vor allem die Struktur und Funktion der Biomembran sowie der membranverlagernde Transport von Stoffen durch die Zelle in den Blick genommen. Beides sind Themen, die sowohl im Biologieunterricht als auch in fachwissenschaftlichen Anteilen des Biologie-Lehramtsstudiums von zentraler Bedeutung sind (s. Kapitel 11.2). Zunächst wird die historische Entwicklung von Membranmodellen dargestellt. Darauf aufbauend werden die strukturelle Organisation und die grundlegenden Funktionen von Biomembranen beschrieben, um dann im Besonderen auf die Funktion und Bedeutung der Kompartimentierung für eukaryotische Zellen einzugehen. Darauf folgend werden die Prozesse der Endo- und Exocytose sowie die damit zusammenhängenden vesikulären Transportprozesse durch die Zelle beleuchtet.

#### *Entwicklung von Membranmodellen*

Die Struktur biologischer Membranen als Doppellipidschicht wurde erstmalig von Gorter und Grendel (1925) experimentell nachgewiesen beschreiben. Beim Experiment isolierten sie die Erythrozytenmembranen verschiedener Tiere. Die extrahierten Membranlipide trugen sie als Lipidfilm auf eine wässrige Oberfläche auf. Diese Filmfläche entsprach der



doppelten Oberfläche der Erythrozyten, woraus geschlossen wurde, dass es sich um eine Doppelmembran handeln muss.

In Erweiterung dieser Erkenntnisse postulierten Danielli und Davson (1935) ein Membranmodell, welches die Vorstellungen über die Struktur von Biomembranen nahezu 40 Jahre dominieren sollte (Gerle 2019). Dieses dreischichtige Modell (s. Abbildung 12) beruht auf Röntgenstrukturanalysen und zeigt einen fluiden Kern aus lipoiden Substanzen (z.B. Fettsäuren und Cholesterin). Dieser hydrophobe Kern ist umgeben von einem Bilayer aus Phospholipiden, deren hydrophile Bereiche in elektrostatischem Kontakt mit löslichen globulären Proteinen stehen, die wiederum Schichten ausbilden und Stabilität gewährleisten. Aufgrund dieser schichtartigen Struktur ist dieses Modell als „Sandwich-Modell“ in den Sprachgebrauch eingegangen.

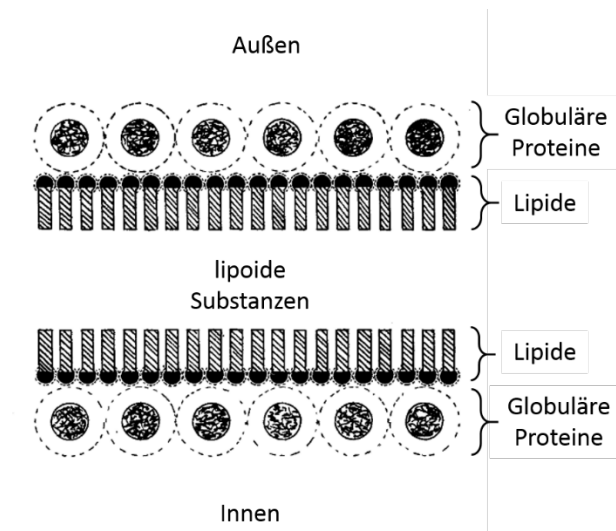


Abbildung 12 Postuliertes Membranmodell im Artikel „A contribution to the theory of permeability of thin films“ (verändert nach Danielli und Davson 1935)

Auch frühe elektronenmikroskopische Beobachtungen stützen das Modell und darüber hinausgehend die Annahme, dass die basale Struktur bei allen Membranen gleich sei (Robertson 1959). Dieses Konzept der *unit membrane* galt jedoch in der scientific community, aufgrund der geringen Evidenzbasierung, nicht als gemeinhin akzeptiert (Korn 1966). Durch die Weiterentwicklung der Elektronenmikroskopie konnte das Konzept der Universalität der Phospholipiddoppelschicht jedoch weitgehend bestätigt werden. In elektronenmikroskopischen Aufnahmen von dünnen gefärbten Membranschnitten zeigen sich zwei dünne dunkle Linien (hydrophile Bereiche) und ein etwa 2 nm breiter heller Zwischenraum (hydrophobe Bereiche). Neuere Befunde zeigen jedoch Grenzen dieses Modells auf (s. Lipid Rafts S. 71).

Diese Erkenntnisse zur generellen Struktur biologischer Membranen wurden ebenfalls durch die Erkenntnisse Linus Paulings zur Sekundärstruktur von Proteinen oder seinem Modell der Tripelhelix der DNA beeinflusst. Paulings DNA-Modell postuliert die DNA in Form einer Helix bei der die hydrophoben Purine und Pyrimidine nach außen zeigen und sich das Phosphatrückgrat innen befindet (Pauling und Corey 1953). Darauf und auch den Röntgenstrukturanalysen von Rosalind Franklin und Raymond Gosling (1953) konnten Watson und Crick (1953) letztendlich die molekulare Struktur der DNA als Doppelhelix beschreiben. Experimentell bestätigten Kendrew (1963) für das Protein Myoglobin dass die

unpolare Reste im inneren des Makromoleküls und die polare Reste auf dessen Oberfläche zu finden sind.

Dies alles führte zu der (auch für die weitere Forschung an Biomembranen) entscheidenden Erkenntnis, dass obgleich kovalente Bindungen die Struktur von Molekülen determinieren, es unspezifischere Entropieeffekte sind, die die Struktur von organischen Makromolekülen in wässriger Umgebung bestimmen (Gerle 2019).

Singer und Nicolson (1972) nutzten diese Erkenntnis für ein neuartiges Membranmodell, in dem auf die stabilisierende Schicht von Proteinen verzichtet wurde. Stattdessen stellten die hydrophoben Wechselwirkungen den Zusammenhalt beider Lamellen sicher. Die Lamellen ordnen sich zweidimensional und gerichtet aus Lipiden und Proteinen an. Weiterhin postulierten sie, dass die Substituenten der Membran in dieser lateral frei beweglich sein. Die integralen Proteine durchspannen mit ihren hydrophoben Aminosäuren den hydrophoben Bereich der Membran (s. Abbildung 13).

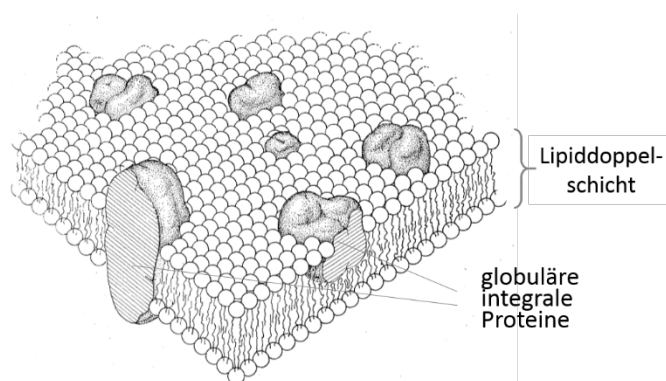


Abbildung 13 Darstellung des Modells im Artikel „The fluid mosaic model of the structure of cell membranes“ (verändert nach Singer und Nicolson 1972)

Die Fluidität der Membran konnte durch verschiedene Methoden experimentell nachgewiesen werden, u.a. durch die Fusion von Membranen mit unterschiedlichen markierten Proteinen (Frye und Edidin 1970) oder dem FRAP-Ansatz (*fluorescence recovery after photobleaching*) (Axelrod et al. 1976).

Zur Erforschung der integralen Membranproteine hat die Methode der Gefrier-Bruch- oder Gefrier-Ätz-Elektronenmikroskopie wesentlich beigetragen. Die Membranseiten werden hierbei aufgetrennt. Die integralen Proteine sind auf den entstandenen Bruchflächen als Erhebungen und auf der komplementären Bruchfläche teilweise als Vertiefung zu erkennen. Integrale Proteine machen gemäß Singer und Nicolson (1972) den Hauptteil der mit der Membran assoziierten Proteine aus (> 70 %) und sind nur durch Detergenzien von dieser abzulösen. Periphere Proteine, wie z.B. das Cytochrom c der Mitochondrienmembran sind durch nicht-kovalente Bindungen oder durch Isoprenyl- oder Meristyl-Anker mit der Lipiddoppelschicht assoziiert und lassen sich lipidfrei durch hohe Salzkonzentrationen dissoziieren (Singer und Nicolson 1972). Dies legte auch den Grundstein für eine weitere wichtige Erkenntnis: Die Biomembran ist asymmetrisch aufgebaut. Auch dies deckte sich mit wichtigen Feststellungen bezüglich der Existenz von Signaltransduktion (Hodgkin und Katz 1949) oder Protonengradienten (Mitchell 1961) an biologischen Membranen. Seit der Publikation von Singer und Nicolson (1972) hat das Modell zwar seine grundsätzliche Gültigkeit beibehalten, wurde allerdings in Teilen modifiziert (vgl. Engelman 2005).

Als eine der wichtigsten Entdeckungen seit dieser Zeit gilt die der *Lipid Rafts*, die ebenfalls die Vorstellung der *unit membrane* limitieren. Bei diesen Membranstrukturen handelt es sich um cholesterin- und sphingolipidreiche Domänen innerhalb der Membran, die eine geringere Fluidität aufweisen als die umgebenden Membranbereiche und zudem dicker sind. Lipid Rafts clustern als spezialisierte funktionelle Bereiche bestimmte Proteine. Unter anderem geht man davon aus, dass Lipid Rafts Caveolae ausbilden (s. S. 81) und Funktionen bezüglich der Signaltransduktion aufweisen. Diese Adaptation des Flüssig-Mosaik-Modells geht heutzutage in einem *dynamisch strukturierten Membranmodell* auf (Vereb et al. 2003).

### *Strukturelle Organisation und grundlegende Eigenschaften von Biomembranen*

Ogleich die meisten biologischen Membranen die gleiche Grundstruktur und gleiche Grundeigenschaften aufweisen, zeigen sich erhebliche Unterschiede hinsichtlich der Funktionen von unterschiedlichen Biomembranen. Diese unterschiedlichen Funktionen werden durch die Ausstattung der jeweiligen Membran oder des jeweiligen Membranabschnitts mit spezifischen Proteinen bestimmt (Lodish et al. 2001, S. 172). Bedeutende Zellfunktionen wie Energiekonservierung, Signalaufnahme, Signalleitung, Transport, Biosynthese oder Motilität sind an die Biomembran gebunden (Kleinig und Sitte 1984, S. 29).

Kleinig und Sitte (1984, S. 29) leiten aus der allgemeinen Kompartimentierungsregel (s. S. 76) vor allem zwei wesentliche Charakteristika von Biomembranen ab. (1) Die physiologische und strukturelle Asymmetrie, in dem sie als *zweidimensionale Flüssigkeitsschicht* (Begriff auch bei Alberts und Graw 2012, S. 394) die cytoplasmatische Phase von der nicht plasmatischen Phase abgrenzt. (2) Die In-sich-Geschlossenheit von Biomembranen als Vesikel, die besagt, dass Biomembranen keine freien Enden bilden. Biomembranen in Lamellenform existieren in intakten Zellen nicht. Begrifflich ist die „Plasmamembran“, welche die Zelle von der extrazellulären Matrix abgrenzt von der „Biomembran“ als übergeordneter Begriff zu trennen.<sup>8</sup>

Der Lipid- und Membrananteil kann in verschiedenen Membranen stark variieren (s. Tabelle 7). So sind Schwannsche Zellen sehr lipidreich wohingegen innere Mitochondrienmembranen sehr proteinreich sind.

Tabelle 7 Protein/Lipid-Gewichtsverhältnisse verschiedener Biomembranen (Kleinig und Sitte 1984, S. 30)

Membranart	Protein/Lipid
Myelinmembran	0,23
Plasmamembran menschlicher Erythrocyten	1,3
Äußere Mitochondrienmembran	1,1
Innere Mitochondrienmembran	3,2
Plasmamembran von Bakterien	2,0-3,5

<sup>8</sup> Weiterhin kann auch noch der Begriff „Zellmembran“ (die Zelle begrenzende Membran) als Synonym zu „Plasmamembran“ genannt werden. Allerdings wird der Begriff „Zellmembran“ bei Lodish et al. (2001, S. 175) auch zur Bezeichnung aller in der Zelle existierenden Membranen verwendet. Aufgrund dieser uneinheitlichen Verwendung des Begriffs werden im Folgenden die Begriffe „Plasmamembran“ ausschließlich für die, die Zelle umgebende Biomembran und „Biomembran“ als unspezifischer Begriff für alle Membranen der Zelle verwendet.

Die Art und die Anzahl der jeweiligen Membranproteine stehen im Zusammenhang mit der jeweiligen Funktion der Membran. Kleinig und Sitte (1984) ist zu entnehmen, dass einst Annahmen über ein einheitliches „Struktur-Membranprotein“ postuliert wurden, die sich allerdings nicht bestätigen konnten. Dennoch werden heute zwei grundlegende Typen von Membranproteinen hinsichtlich ihrer Struktur unterschieden: integrale Proteine die ganz oder teilweise in die Membran eindringen (eingelagerte Proteine) oder sie durchspannen (Transmembranproteine) und periphere Membranproteine, die auf der Membran angelagert sind und nicht mit dem hydrophoben Bereich der Membran interagieren (s. Abbildung 14).

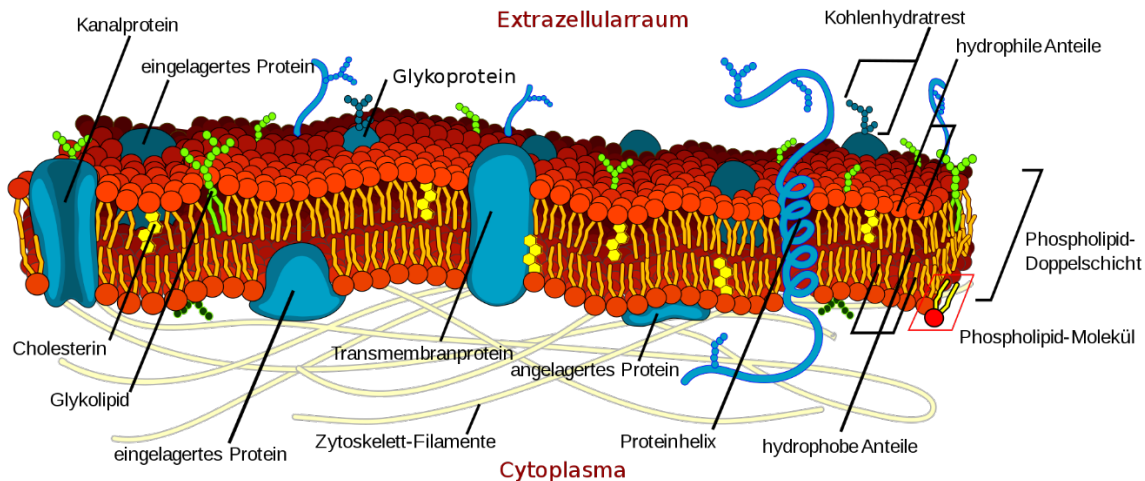


Abbildung 14 Darstellung einer Plasmamembran (Quelle: Wikipedia, gemeinfreie Darstellung)

Membranlipide weisen im Gegensatz zu Membranproteinen weniger spezifische Funktionen auf und dienen eher als „Grundsubstanz“, die der Membran besondere physiko-chemische Eigenschaften verleiht. Membranlipide sind amphiphil, bzw. amphipatisch, d.h. ein einziges Lipidmolekül weist sowohl einen hydrophilen als auch einen hydrophoben Bereich auf. In universitären Lehrwerken und Schulbüchern wird dafür häufig die Metapher *hydrophiler Kopf* und *hydrophober Schwanz* oder *Fortsatz* verwendet (u.a. Alberts und Graw 2012, S. 391; Campbell et al. 2016, S. 164).

Die in Membranen am häufigsten vorkommende Lipidklasse (Übersicht s. Abbildung 15) ist die der Phosphoglyceride (u.a. Phosphatidylcholin). Bei diesen Molekülen sind zwei der drei Hydroxylgruppen des Glycerins mit zwei Kohlenwasserstoffketten und eine Hydroxylgruppe mit einer Phosphatgruppe verestert. Die Phosphatgruppe ihrerseits ist weiterhin mit einem Alkohol (in diesem Fall Cholin) verbunden. Bei Lodish et al. (2001, S. 173) gehört zum hydrophilen Bereich des Phosphatidylcholins das Cholin, Phosphat und das Glycerin. In der Darstellung von Alberts und Graw (2012, S. 391) wird das Glycerin weder dem hydrophilen noch dem hydrophoben Bereich des Moleküls zugeordnet. Es kann jedoch mit Bestimmtheit gesagt werden, dass Glycerin (als dreiwertiger Alkohol) hydrophile Eigenschaften aufweist.

In einer der Kohlenwasserstoffketten des Phosphatidylcholins tritt ein Knick an der Stelle auf, an der sich eine Doppelbindung zwischen zwei Kohlenstoffatomen befindet. Es handelt sich hierbei demnach um eine ungesättigte Fettsäure. Weitere häufig vorkommende Membranlipide sind Shingolipide, welche sich durch ein Sphingosinrückgrat auszeichnen. Im Gegensatz zu Phosphoglyceriden enthält dieses kein Glycerin, sondern besteht aus Palmitinsäure und der Aminosäure Serin. Beispiele dafür sind Sphingosin und

Sphingomyelin. Auch Cholesterin ist ein häufig vorkommendes Membranlipid. Obgleich Kleinig und Sitte (1984, S. 31) noch darauf verweisen, dass Cholesterin und andere Sterole sich nicht nach einem amphiphilen Prinzip konstruieren, heben Lodish et al. (2001, S. 173) und Alberts und Graw (2012, S. 392) hervor, dass auch beim Cholesterin, obwohl es in erster Linie Eigenschaften eines Kohlenwasserstoffs aufweist, auch amphiphile Eigenschaften zu Tage treten, da die Hydroxylgruppe mit Wasser in Wechselwirkung treten kann. Cholesterin hat eine wichtige medizinische Bedeutung. Einerseits gilt es als kardiovaskulärer Risikofaktor, andererseits steigert Cholesterin als Membranbestandteil mit starrer Form die Membrandichte und senkt damit die Membranfluidität.

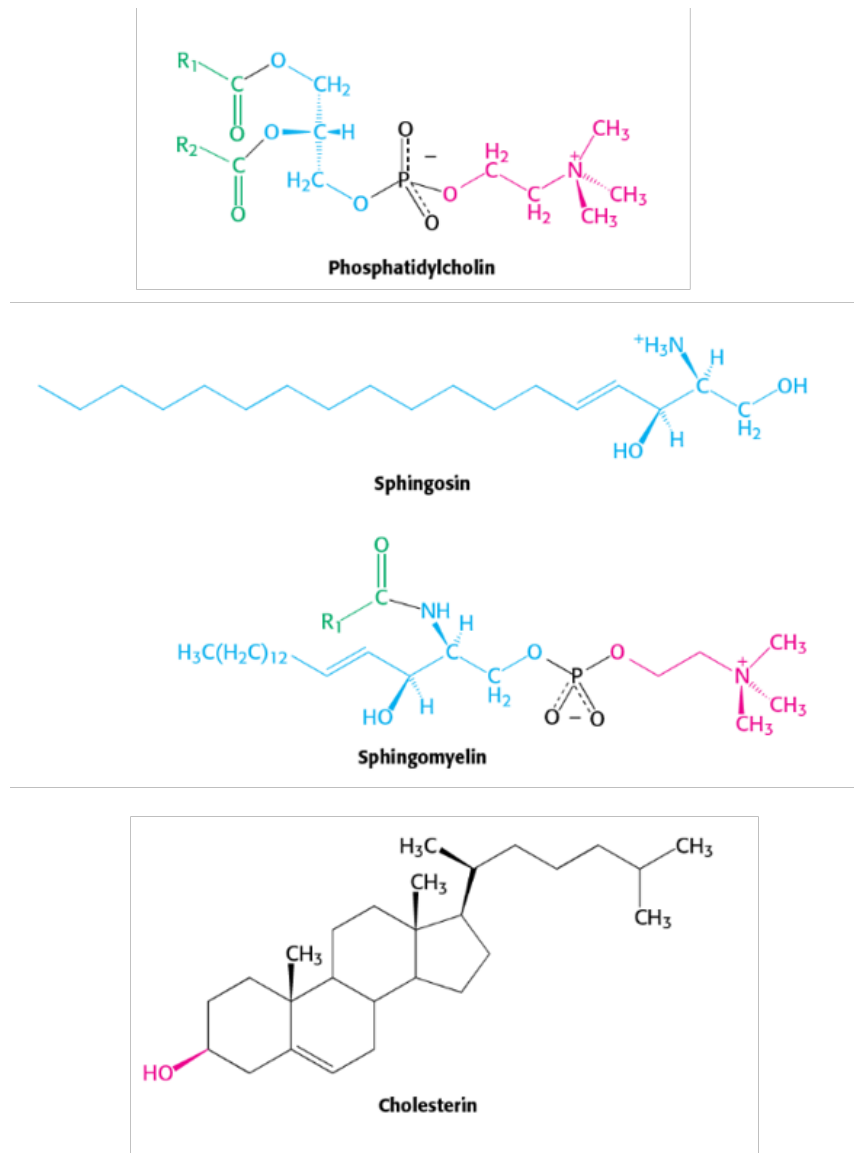


Abbildung 15 Übersicht über die chemischen Strukturen wichtiger Membranlipide (verändert nach Berg et al. 2018, S. 352–353)

Die Lipidmuster können sich in verschiedenen Membranen stark unterscheiden (s. Tabelle 8). Bakterien zeigen oft einfache Muster. In inneren Mitochondrienmembranen findet sich häufig das Cardiolipin, welches sonst auch in einigen Bakterien auftaucht. Dieser Befund stärkt auch die Endosymbiontentheorie. Cholesterin tritt verstärkt in Plasmamembranen auf, wohingegen es in Mitochondrien und Chloroplasten gar nicht zu finden ist.

Weitere Komplexität in den Lipidmustern tritt dadurch auf, dass die Fettsäurereste in den Lipidmolekülen (z.B. Phosphatidylcholin oder Sphingomyelin) variieren können. Wichtige Fettsäuren sind beispielsweise die gesättigte Palmitinsäure oder die einfach ungesättigte Ölsäure.

Tabelle 8 Lipidmuster verschiedener Membranen (Massenanteil in %) (in Anlehnung an Kleinig und Sitte 1984, S. 31)

	Plasmamembran (Leberzelle Ratte)	ER (Leberzelle Ratte)	innere Mitochondrien- membran (Leberzelle Ratte)	Myelin (Mensch)	Plasmamembran <i>E. coli</i>	Chloroplast Hüllmembran (Spinat)
Phosphatidyl- cholin	38	38	41	11	100	22
Shingomyelin	16	16	-	6	-	-
Cholesterin	17	4	-	25	-	-
Cardiolipin	-	-	17	-	-	-

Die Lipidmuster variieren aber nicht nur in den Membranarten, sondern auch in den verschiedenen Seiten der Membran (plasmatische und nichtplasmatische). Diese transversale Asymmetrie kann zum Beispiel in Erythrocytenmembranen gefunden werden. Dort befinden sich Sphingomyelin und Phosphatidylcholin bevorzugt in der äußeren Lage der Doppelschicht, während Phosphatidylethanolamin und Phosphatidylserin hauptsächlich in der inneren Lage vorkommen. Cholesterin ist in beiden Lagen zu finden (Berg et al. 2018, S. 367). Diese Asymmetrie wird auch beim Membranwachstum und -recycling aufrechterhalten, da die Membran durch Erweiterung von vorhandenen Membranen wächst. Die Synthese von Membranlipiden erfolgt größtenteils am glatten endoplasmatischen Retikulum (ER). Für eine gleichmäßige Verteilung muss die Hälfte der synthetisierten Lipidmoleküle in die gegenüberliegenden Einzelschicht transferiert werden. Da dieser *Flip-Flop* energetisch ungünstig ist, muss er von Enzymen, den sogenannten Flippasen oder Scramblasen, katalysiert werden.

Membranlipide sind im Wesentlichen für wichtige Eigenschaften wie Flexibilität, Stabilität, Fluidität und Semipermeabilität beziehungsweise selektive Permeabilität der Biomembran verantwortlich. Um Zellwachstum und -vermehrung zu gewährleisten, muss die Fluidität der Membran aufrechterhalten werden. So beeinflusst beispielsweise der Anteil an ungesättigten Fettsäuren die Fluidität bei niedrigen Temperaturen. Aufgrund der Krümmung der Kohlenwasserstoffkette bilden ungesättigte Fettsäuren weniger Van-der-Waals-Wechselwirkungen mit anderen Lipiden aus und haben die Tendenz einen ungeordneten Zustand beizubehalten (Lodish et al. 2001, S. 626). Im Gegensatz dazu bilden Lipide, die gesättigte Fettsäuren enthalten, bei niedrigen Temperaturen eher starre, gelartige und infolgedessen instabile Membranzustände aus. Cholesterin, mit einer eher starren Molekülstruktur, schränkt hingegen bei mäßiger Temperatur die Membranfluidität, d.h. die laterale Bewegung der Phospholipide ein. Bei kalten Temperaturen verhindern die Steroid-Ringsysteme eine gelartige Verfestigung, weil sich die Fettsäureketten nicht in hochgeordneter Packung anordnen können (Alberts et al. 2011, S. 642).

Die Asymmetrie von Biomembranen zeigt sich auch durch Membranproteine, die mit verschiedenen Orientierungen in die Biomembran eingebettet sind. Integrale Membranproteine weisen für die Bereiche, mit dem sie die Membran durchziehen

hydrophobe Aminosäuren auf. Dies lässt sich über Hydrophobizitätsplots der Aminosäurekette nachweisen.

Ebenso spielt auch die Stoffklasse der Kohlenhydrate für die Asymmetrie der Plasmamembran eine bedeutende Rolle. Zuckerketten befinden sich nur an der Außenseite der Plasmamembran und sind kovalent an Lipide und Proteine gebunden.

Die Gesamtheit der Zuckerschicht heißt Glycocalyx. Sie dient der Zell-Zellerkennung (z.B. bei Blutgruppenantigenen), zur Ausbildung von Zell-Zellkontakten (z.B. bei Adhäsionsmolekülen) und bietet darüber hinaus unspezifischen Schutz (z.B. beim Darmepithel).

### *Selbstatsemblierung von Membranen*

Amphiphile Moleküle neigen in wässriger Lösung zur Selbstaggregation (*Self Assembly*), welche in Abhängigkeit der kritischen micellaren Konzentration (CMC) stattfindet. Oberhalb der CMC bilden die Moleküle Aggregate aus, wohingegen sie unter der CMC als Monomere vorliegen. Die CMCs sind dabei nicht nur abhängig von der jeweiligen Lipidstruktur, sondern auch von Bedingungen, wie Temperatur und Ionenkonzentration (Lodish et al. 2001, 656 f.).

Ob sich Micellen oder Doppelschichten (bzw. Vesikel) bilden (s. Abbildung 16), hängt von der räumlichen Struktur der Lipidmoleküle, in Form der Querschnittsfläche des hydrophilen Bereichs und dem Volumen der hydrophoben Bereiche ab (Kleinig und Sitte 1984, S. 32). Dass jedoch überhaupt eine Assemblierung stattfindet, beruht auf hydrophoben Wechselwirkungen. Diese bilden sich, aufgrund der Tendenz einen Zustand der geringsten freien Enthalpie zu erreichen, aus.

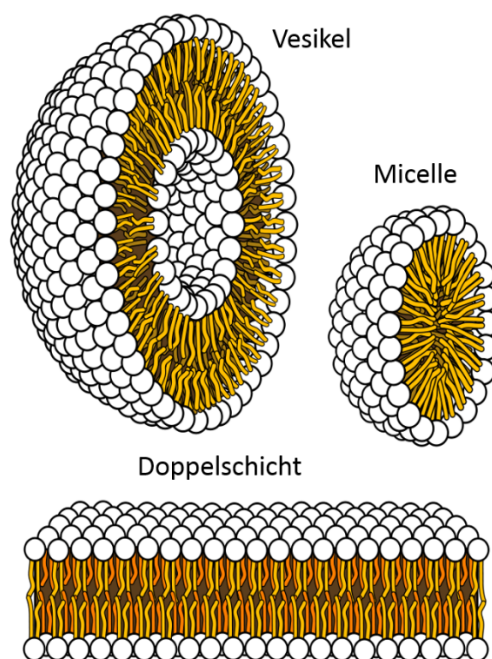


Abbildung 16 Schematische Darstellung von Lipidaggregaten (verändert nach Wikipedia, gemeinfreie Abbildung)

Hydrophobe Molekülbereiche schränken die Möglichkeit der Ausbildung von Wasserstoffbrückenbindungen im umgebenden wässrigen Medium ein. Zwischen hydrophoben Bereichen bestehen zwar auch van der Waals-Kräfte, diese sind jedoch im Vergleich zu hydrophoben Wechselwirkungen für die Strukturbildung weniger bestimmend (vgl. Kleinig und Sitte 1984, S. 33). Aufgrund dieser schwachen hydrophoben Wechselwirkungen wird die Grundeigenschaft einer Membran bestimmt: ihre Flexibilität. Aus diesen Ausführungen heraus ist ebenfalls zu schließen, dass Lipiddoppelschichten aus energetischen Gründen keine freien Enden bilden, sich somit nicht in Lamellen anordnen und auch keine größeren Löcher aufweisen können.

### *Die Kompartimentierung eukaryotischer Zellen*

Die Möglichkeit zur Arbeitsteilung und die damit einhergehende Leistungsfähigkeit eukaryotischer Zellen ergibt sich durch eine interne Gliederung in zahlreiche Reaktionsräume (Kompartimentierung). Stoffwechselvorgänge können so voneinander getrennt werden, was sie weniger störanfällig, effektiver und besser regulierbar macht (Kleinig und Sitte 1984, S. 24). Metabolite können in Kompartimenten in erhöhter Konzentration vorliegen. Durch die damit einhergehende Verringerung der Diffusionsstrecken und die Erhöhung der Stoßfrequenz in den Kompartimenten kann eine deutliche Beschleunigung von Stoffwechselreaktionen erreicht werden. Kompartimentierung kann demnach als evolutionäre Voraussetzung für die Entstehung differenzierter Organismen gelten.

Die Reaktionsräume gleicher Art werden Kompartimente genannt. Die Membran wird dabei dem Kompartiment zugerechnet, das sie umgibt (Kleinig und Sitte 1984, S. 19). Die allgemeine Kompartimentierungsregel, die 1965 von Schnepf aufgestellt wurde, besagt, dass eine biologische Membran immer eine plasmatische von einer nicht-plasmatischen Phase trennt (nach Kleinig und Sitte 1984, S. 25–26).

Bei Kompartimenten in Kugelgestalt, z.B. Microbodies oder Lysosomen wächst die Oberfläche mit der zweiten und das Volumen mit der dritten Potenz des Radius. Das Volumen ist maximalisiert. Bei anderen Kompartimenten hingegen wird die Oberfläche vergrößert in dem sie sich tubulär oder zisternenförmig (wie z.B. im ER oder im Golgi-Apparat) ausdehnt (Kleinig und Sitte 1984, S. 24).

Der Begriff Kompartiment deckt sich nicht in allen Fällen mit dem Begriff Organell, obgleich die Begriffe der Komplexitätsreduktion halber oft synonym verwendet werden. Organelle werden als subzelluläre Funktionseinheiten beschrieben. Darin lassen sich auch Strukturen wie Ribosomen und Centriolen, die generell nicht von einer Membran umgeben sind und keine Kompartimente darstellen, fassen (Strasburger und Sitte 2002, S. 42). Andererseits wird das Cytoplasma als Kompartiment betrachtet (Kleinig und Sitte 1984, S. 19), nicht jedoch als Organell. Mitochondrien und Plastiden sind von zwei Membranen umgeben und besitzen damit auch mehrere Reaktionsräume, bzw. Kompartimente. Auch mit der allgemeinen Kompartimentierungsregel ist die innere Kompartimentierung für Mitochondrien, Chloroplasten und den Zellkern nachzuvollziehen. Die Räume zwischen den Membranen gelten als nicht-plasmatisch, wohingegen die anderen Räume (in Form von Karyoplasma, Mitoplasma und Plastoplasma) plasmatisch sind. Ein Charakteristikum von



Plasmen (einschließlich dem Cytoplasma) ist, dass Nukleinsäuren nur in diesen und nicht in nicht-plasmatischen Räumen enthalten sind (Kleinig und Sitte 1984, S. 24).

Ein wesentliches Charakteristikum der Kompartimentierung ist, dass sie nicht statisch ist, sondern äußerst dynamisch. Vor allem die Komponenten des Endomembransystems (v.a. ER und Golgi-Apparat) und die Plasmamembran sind durch Abschnürung, vesikulären Transport und Fusionsprozesse stark miteinander verbunden. Diese Vorgänge werden unter dem Begriff Membranfluss zusammengefasst. Mitochondrien und Chloroplasten stehen allerdings in keinem vesikulären Austausch mit den Membranen der anderen Kompartimente (Kleinig und Sitte 1984, S. 24).

### *Permeabilität von Biomembranen*

Eine bedeutsame Funktion von Membranen ist die Bildung einer Abgrenzungsstruktur, die jedoch eher als eine biochemische als eine mechanische Barriere zu verstehen ist.<sup>9</sup> Der Verlust von Metaboliten kann durch die Biomembran ebenso kontrolliert werden, wie das Eindringen von Substanzen. Die Ionenzusammensetzung, der pH-Wert und der osmotische Druck können so aufrechterhalten werden.

Die Lipiddoppelschicht ist generell durchlässig für kleine Moleküle, wie Wasser, Essigsäure oder Harnstoff<sup>10</sup> und für Gase (z.B. O<sub>2</sub> oder CO<sub>2</sub>). Unpolare Moleküle (z.B. Steroidhormone) können ebenfalls entsprechend ihrer Verteilungskoeffizienten in die Membran eindringen und aus dieser entlassen werden. Für Makromoleküle (z.B. Glucose) und Ionen (z.B. K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>) ist der Austausch stark eingeschränkt. Diese Moleküle und Ionen können die Membran durch bestimmte Transmembranproteine passieren. Generell sind die Aussagen über den freien Durchtritt von Stoffen in Form von Diffusion durch die Membran nicht absolut zu sehen. Es handelt sich vielmehr um größere oder geringere Durchtrittswahrscheinlichkeiten. Die Eigenschaft der Membran für kleinere Stoffe eher durchlässig zu sein als für große, nennt sich *Semipermeabilität*. Osmotische Vorgänge beruhen auf dieser Eigenschaft. Die Diffusionsgeschwindigkeit  $dn/dt$  (in mol/s) lässt sich quantitativ durch das *Ficksche Gesetz* beschreiben, welches besagt, dass die Diffusionsrate eines Moleküls durch eine Membran direkt proportional zum *Permeabilitätskoeffizienten*  $P$ , zur Differenz der Konzentrationen der Lösungen  $C_1^{aq}$  und  $C_2^{aq}$  und zur Fläche  $A$  ist:

$$dn/dt = PA(C_1^{aq} - C_2^{aq})$$

$P$  wiederum ergibt sich aus dem Verteilungskoeffizienten  $K$ , dem Diffusionskoeffizienten  $D$  und der Membrandicke  $x$ :  $P = KD / x$ . Da Diffusionskoeffizient und Membrandicke oft einheitlich sind, ist der bestimmende Faktor für die Permeabilität der Verteilungskoeffizient. Dementsprechend ergibt sich: Je größer die Hydrophobizität, desto größer auch die Diffusionsgeschwindigkeit.

Die meisten Moleküle werden allerdings nicht durch passive Diffusion, sondern durch Transportproteine durch die Membran transportiert. Selbst der Transport von Wasser und Harnstoff wird häufig über Proteine beschleunigt. Dieser spezifische Transport grenzt sich

---

<sup>9</sup> Die Stabilität einer Zelle wird nicht durch die Biomembran als solche, sondern durch das Cytoskelett und die Interaktion mit der Membran, z.B. in Form des Zellkortex, gewährleistet.

<sup>10</sup> Lodish et al. (2001, S. 628) beschreiben für Wasser und Harnstoff eine eher schlechte Durchlässigkeit der Biomembran. Alberts und Graw 2012, S. 417) hingegen sprechen im Hinblick auf Wasser von einem *schnellen* Durchtritt.

laut Kleinig und Sitte (1984, S. 48) durch fünf Kriterien von der freien Diffusion über die Membran ab: er ist (1) schneller, (2) über integrale Translokatoren vermittelt, (3) substratspezifisch, (4) saturierbar und (5) spezifisch hemmbar. Aufgrund dessen ist eine Biomembran nicht nur *semipermeabel*, sondern *selektiv permeabel*.

Transportproteine können in drei Haupttypen hinsichtlich ihres Struktur- und Funktionszusammenhangs unterteilt werden. Diese drei Haupttypen sind nach Lodish et al. (2001, S. 630) Ionenkanäle, Transporterproteine (die von anderen Autoren auch *Carrier* genannt werden (z.B. Campbell et al. 2016, S. 170)) und ATP-getriebene Pumpen.<sup>11</sup>

Ionenkanäle transportieren spezielle Ionen entlang ihres Konzentrationsgradienten. Man spricht in diesem Fall auch von *erleichterter Diffusion* oder *passivem Transport*. Proteine kleiden dabei einen Kanal durch die Membran aus, durch den mehrere Ionen gleichzeitig transportiert werden können. Es unterscheiden sich hierbei Kanäle die auf bestimmte Signale hin geöffnet oder geschlossen werden können, oder Kanäle, die permanent geöffnet sind, wie beispielsweise der  $K^+$ -Kanal. Durch diesen wird in tierischen Zellen hauptsächlich das Membranpotenzial aufrechterhalten.

Transporter oder Carrier schleusen im Gegensatz zu Kanälen immer nur ein Ion oder Molekül durch die Membran (s. Abbildung 17). Dies liegt an der Notwendigkeit der Bindung des zu transportierenden Stoffes an das Transporterprotein, welches daraufhin seine Konformation derartig ändert, dass die gebundenen Moleküle die Membran passieren können.

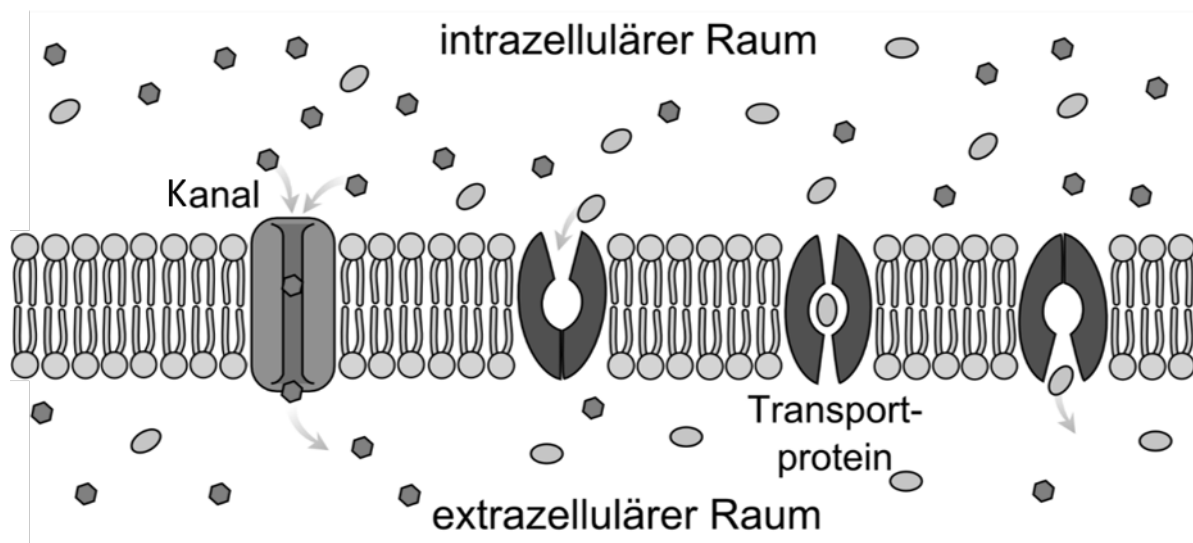


Abbildung 17 Erleichterte Diffusion durch ein Kanalprotein und Transportprotein (Carrier, Uniport) (verändert nach Wikipedia, gemeinfreie Abbildung)

Die Transporterproteine können weiterhin in drei Gruppen hinsichtlich der Transportrichtung und des Konzentrationsgefälles unterschieden werden (s. Abbildung 18). *Uniporter* transportieren nur in eine Richtung entlang des Konzentrationsgefälles. Als Beispiel kann hier der gut untersuchte Transport von Glucose gelten (Lodish et al. 2001, S. 632–634). Beim *Symport* werden zwei Moleküle in die gleiche Richtung transportiert, wobei eines der beiden entgegen dem Konzentrationsgradienten transportiert wird. Auch beim

<sup>11</sup> Alberts und Graw (2012, S. 419) rechnen die ATP getriebenen Pumpen mit zu den Transportern, da ihr hinreichendes Unterscheidungskriterium die spezifische Bindungsstelle und die Konformationsänderung ist.

*Antiport* wird ein Molekül entlang und ein Molekül entgegen des Konzentrationsgradienten transportiert, wobei im Unterschied zu *Symport* in entgegengesetzte Richtungen transportiert wird. Dementsprechend können Carrier sowohl dem passiven als auch dem aktiven Transport zugerechnet werden. *Symport* und *Antiport* werden allgemein als *Cotransport* bezeichnet.

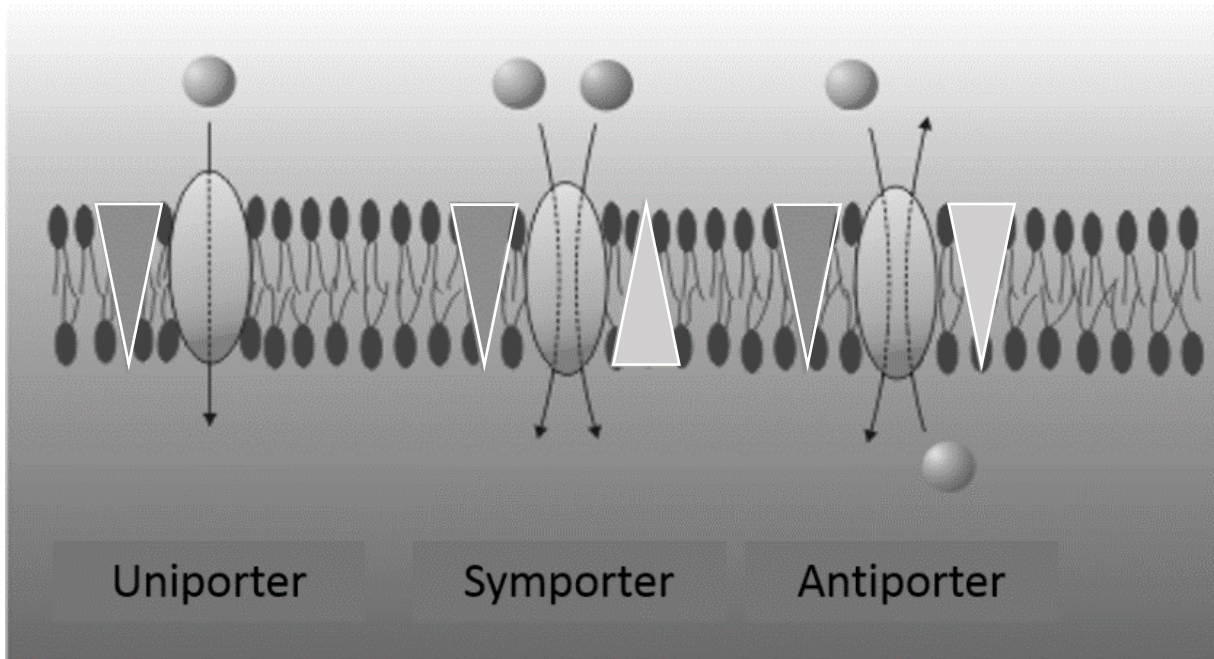


Abbildung 18 Drei Gruppen von Transporterproteinen (Carriern) unterteilt nach Transportrichtung und Konzentrationsgefälle. (verändert nach Wikipedia, gemeinfreie Abbildung)

ATP-getriebene Pumpen sind ATPasen, welche die Energie der ATP-Hydrolyse ausnutzen, um Ionen gegen ein Konzentrationsgefälle zu transportieren. Dieser Transport erfolgt unter Energieaufwand und wird daher auch dem *aktiven Transport* zugerechnet. Solche Pumpen sind beispielsweise für die Aufrechterhaltung der (im Vergleich zum umgebenden Medium relativ geringen) Natrium- ( $\text{Na}^+$ ) und Calcium-Konzentrationen ( $\text{Ca}^{2+}$ ) von hoher Bedeutung.

Es können hinsichtlich des aktiven Transports noch *primär-* und *sekundär-aktiver Transport* unterschieden werden. Beim *primär-aktiven Transport* werden Ionen unter ATP-Verbrauch aus dem Kompartiment hinaus transportiert, wie es z.B. bei der Natrium-Kalium-Pumpe der Fall ist. Beim *sekundär-aktiven Transport* wird die Rückdiffusion dieser Ionen für einen *Symport* oder *Antiport* mit anderen Molekülen ausgenutzt. Dieses Prinzip findet sich zum Beispiel beim Natrium-Glukose-Symport im Dünndarm oder beim Natrium-Calcium-Antiport (Lodish et al. 2001, S. 649–650).

Neben dem Transport übernehmen Proteine jedoch auch andere bedeutende Funktionen. Einige dienen der Verankerung von Makromolekülen, andere fungieren als Rezeptoren, die chemische Signale aufnehmen und weiterleiten. Weitere katalysieren als Enzyme bestimmte Reaktionen.

## Membranverlagernder Transport durch die Zelle<sup>12</sup>

Neben dem Transport über Proteine ist ein weiterer Transportmechanismus in der Zelle entscheidend für ihre Funktionalität. Beim membranverlagernden Transport handelt es sich um einen Massentransport. Durch Endocytose können Substanzen über die Abschnürung von Vesikeln an der Plasmamembran in die Zelle aufgenommen werden. Durch Exocytose werden sie über Vesikelfusion wieder abgegeben. Diese Mechanismen dienen darüber hinaus auch dem Membranrecycling. Die Dynamik der Kompartimentierung eukaryotischer Zellen ist ein bedeutendes Konzept der Zellbiologie. Insgesamt kann man von einem dynamischen Gleichgewicht zwischen Endo- und Exocytoseprozessen sprechen. Es handelt sich dabei um Vorgänge, die ausschließlich an der Zellmembran stattfinden. Abschnürungs- und Fusionsprozesse an Kompartimenten des Endomembransystems finden zwar grundsätzlich nach den gleichen Prinzipien statt, werden allerdings eher unter dem Begriff *Membranfluss* gefasst.

Die Endocytose lässt sich phänomenologisch in verschiedene Formen unterteilen. Bei der *Phagocytose* werden größere Partikel oder sogar Mikroorganismen, bei der *Pinocytose* hingegen unspezifisch gelöste Stoffe durch einen Vesikulationsvorgang von der Plasmamembran umschlossen und schließlich aufgenommen. Während die *Phagocytose* nur selten bei wenigen spezialisierten Zellen (z.B. Makrophagen) vorkommt, findet die *Pinocytose* an der eukaryotischen Plasmamembran ständig statt. Von konstitutiven Endocytoseformen, die primär der Rückgewinnung von Membranbestandteilen dienen, unterscheidet sich die *rezeptorvermittelte Endocytose*. Bei dieser werden spezifisch bestimmte Rezeptormoleküle mit ihren jeweiligen Liganden internalisiert. Bezüglich der Unterteilung der Endocytoseformen lässt sich festhalten, dass diese Unterscheidung (vor allem in Bezug auf *Phago-* und *Pinocytose*) auf lichtmikroskopische Beobachtungen zurückgehen. Da die meisten Endocytosen in Säugerzellen rezeptorvermittelt sind, wird sich im Folgenden auf die Beschreibung der rezeptorvermittelten Endocytose fokussiert. Hinsichtlich dieser können die *Clathrin-* und die *Caveolin-vermittelte Endocytose* unterschieden werden.

Bei der *Clathrin-vermittelten Endocytose*, welche die häufigste Form der rezeptorvermittelten Endocytose darstellt, bindet ein membranständiger Rezeptor auf der extrazellulären Membranseite mit einem Liganden. Sie geht von diskreten funktionellen Bereichen in der Membran, den sogenannten *coated pits*, aus. Darin sammeln sich an der extrazellulären Seite Rezeptoren und an der intrazellulären Seite Clathrinmoleküle. Diese bedecken ca. zwei Prozent der Oberfläche von Hepatocyten und Fibroblasten (Lodish et al. 2001, S. 787). In demselben *clathrin-coated pit* können sich unterschiedliche rezeptorgebundene Liganden ansammeln, wie z.B. Transferrin und LDL. Die Clathrinvermittelte Endocytose ist besonders gut für LDL (*low density lipoprotein*), welches für den Transport von Cholesterin im Blut verantwortlich ist, untersucht. Auf die gleiche Weise werden aber auch andere Liganden, wie Insulin, aufgenommen (Lodish et al. 2001, S. 790). Das LDL-Partikel wird zunächst vom LDL-Rezeptor gebunden. Clathrinmoleküle liegen in einer dreiarmligen Struktur, dem sogenannten Triskelion vor. Sie werden an Adapterproteinen (AP2-Komplex) gebunden, die ihrerseits das Targeting bestimmen. Durch die spontane Polymerisation der Triskelien (*self assembly*) können sich die *coated pits* zu

<sup>12</sup> Die folgenden Beschreibungen basieren auf den Ausführungen von Alberts et al. (2011, 545-463) und den Vorlesungsunterlagen zur Zellbiologie an der Universität Potsdam (Sommersemester 2016).

*coated vesicles* ausdehnen und abschnüren. Bei der Abschnürung ist ebenfalls das Cytoskelettelement Aktin beteiligt. Aktin polymerisiert zu Aktinfilamenten und begünstigt so den Abschnürungsprozess. Die eigentliche Abschnürung erfolgt über die GTPase Dynamin.

Nach der Abschnürung beginnt der Endocytoseweg, der strenggenommen nicht mehr zum Prozess der Endocytose gehört (s. Abbildung 19). Dabei depolymerisiert vorerst die Clathrinhülle. Übrig bleibt ein Vesikel ohne Hülle – ein frühes Endosom, welches mit einem späten Endosom fusioniert. Durch den niedrigeren pH-Wert im späten Endosom lösen sich LDL-Rezeptor und LDL-Partikel voneinander. Bereiche, in denen sich vermehrt LDL-Rezeptoren sammeln, werden abgeschnürt und wiederum zur Plasmamembran zurückgeführt. Infolgedessen fusioniert das Endosom mit dem enthaltenen LDL-Partikel mit einem Lysosom, in welchem der Proteinanteil durch Hydrolasen abgebaut wird. Die im LDL enthaltenen Cholesterinester werden zu Cholesterinmolekülen und Fettsäuren hydrolysiert, welche wiederum in Membranen eingebaut werden können.

Eine weitere Form der Endocytose ist die *Caveolin-vermittelte Endocytose*, die in allen tierischen Zellen (vor allem in Endothelzellen) vorkommt. Caveolae sind dabei Einbuchtungen in der Plasmamembran, die häufig durch Lipid-Rafts gebildet werden. Das integrale Membranprotein Caveolin ist dabei das wichtigste Strukturelement.

Vor nicht allzu langer Zeit wurde die Existenz eines sogenannten Caveosoms mit neutralem pH postuliert (z.B. Pelkmans und Helenius 2002; Parton und Simons 2007). Heute geht man davon aus, dass *caveolin-coated vesicles* ebenfalls saure frühe Endosomen für die weitere Prozessierung nutzen (Bastiani und Parton 2010).

Beim Vesikeltransport zwischen den Kompartimenten des Endomembransystems sind weitere Hüllproteine von Bedeutung. Der Transport von Vesikeln vom rauen ER zur cis-Seite des Golgi-Apparats wird über COP II (*coat protein II*) vermittelt, wohin die entgegengesetzte Richtung über COP I vermittelt wird.

Bei der Exocytose werden bestimmte Biosyntheseprodukte über die Plasmamembran durch Vesikelfusion sezerniert. Dem Fusionsprozess geht immer ein Abschnürungsprozess voraus, dem man an der Plasmamembran als Endocytose und an der Endomembran als „Budding“ oder lediglich Abschnürung bezeichnet. Als prominentes Beispiel können hier chemische Synapsen gelten, bei denen Neurotransmitter durch synaptische Vesikel in den synaptischen Spalt befördert werden.

Bei Vesikulationsvorgängen können nur gleichnamige Phasen (plasmatisch oder nicht-plasmatisch) fusionieren. Dabei stehen die nicht-plasmatischen Phasen in einem dynamischen Kontinuum. Die funktionelle und strukturelle Asymmetrie der Biomembran geht damit einher. Im Cytoplasma synthetisierte Stoffe werden durch Knospung (*budding*) in die extrazelluläre Matrix abgegeben. Der Fusionsprozess ist dabei unabhängig von den beteiligten Hüllproteinen (Clathrin, COP I oder COP II) und verläuft bei allen Typen nach dem gleichen Prinzip. Der Erkennungsvorgang ist von einer Proteinfamilie, den Rab-GTPasen (kleine GTPase vom ras-Typ)<sup>13</sup> abhängig. Diese binden an ein filamentartiges Gurtprotein (Rab-Effektor) an der Plasmamembran. Kleine GTPasen vom ras-Typ wirken hierbei als molekulare Schalter: GEFs und GAPs sind dabei die Regulatoren, indem ein GEF (*Guanosine-*

---

<sup>13</sup> Bei der Fusion an der Plasmamembran und am Golgi-Apparat wirkt ARF1 und am ER Sar1 als kleine GTPase vom ras-Typ.

*triphosphate-Exchange-Factor*) bewirkt, dass bei einem G-Protein ein gebundenes GDP gegen GTP ausgetauscht wird. Das G-Protein wird somit aktiviert und wirkt auf den Effektor. GAP (*GTPase-activating protein*) hingegen aktiviert die GTPase Aktivität, wodurch GTP zu GDP hydrolysiert. Die Funktion der kleinen GTPasen spielt auch bei der Vesikelabschnürung für die Bildung der Hülle eine entscheidende Rolle.

Nach der Bindung an den Rab-Effektor folgt die Assemblierung des SNARE-Komplexes. Bei den sogenannten SNAREs (*soluble N-ethylmaleimide-sensitivefactor attachment receptors*) handelt es sich um filamentartige Transmembranproteine, die bereits bei der Vesikelabschnürung spezifisch in die Vesikelmembran eingeschlossen werden. Die SNAREs des Vesikels (*v-SNAREs*, *v* für *vesicle*) treten in komplementäre Wechselwirkung mit den SNAREs der Zielmembran (*t-SNAREs*, *t* für *target*). Sie winden sich umeinander, verdrängen damit die wässrige Phase und bringen die beiden Membranen nah genug aneinander, sodass die Fusion stattfinden kann. Die Disassemblierung des SNARE-Komplexes erfolgt energieabhängig durch die NSF-ATPase und  $\alpha$ -SNAP. Auch das RAP-Protein wird hydrolysiert und zurücktransportiert. Durch die Fusion wird der transportierte Stoff in den extrazellulären Raum entlassen. Der regulierte Exocytose-Prozess, wonach die Exocytose erst durch einen spezifischen Reiz und durch eine folgende Signalkaskade ausgelöst wird, ist wiederum von der konstitutiven Exocytose zu unterscheiden. Letztere erfolgt weitgehend unspezifisch und dient der Integration von Membranproteinen und der Erneuerung, bzw. Erweiterung der Plasmamembran.

Die Exocytose steht am Ende des sekretorischen Weges durch die Zelle (s. Abbildung 19). Der sekretorische Weg ist Teil des Membranflusses. Dabei werden am ER synthetisierte Neurotransmitter, Antikörper oder Membranproteine zunächst zum Golgi-Apparat transportiert und dort postranslational modifiziert und proteolytisch aktiviert. Prinzipiell werden beim Transport durch den Golgi-Apparat von *cis* nach *trans* zwei Modelle vorgeschlagen. Das Modell der Zisternenreifung geht davon aus, dass die zu modifizierenden Proteine in den jeweiligen Zisternen verbleiben, sich jedoch durch vesikulären Rücktransport die Enzymzusammensetzung in den Zisternen ändert. Beim Modell des vesikulären Transports durch den Golgi-Apparat, wird davon ausgegangen, dass die Proteine über Vesikel von Zisterne zu Zisterne transportiert werden und die Enzymausstattung innerhalb der Zisternen gleichbleibend ist. In beiden Modellen ist von einer großen Dynamik der Kompartimentierung auszugehen. Da der retrograde Transport von Enzymen und der Verbleib von großen Proteinstrukturen in den Zisternen experimentell nachgewiesen wurden, findet das Zisternenreifungsmodell weitgehende Zustimmung (vgl. Losev et al. 2006; Mani und Thattai 2016).

Vom Golgi-Apparat werden die sortierten Proteine an der *trans*-Seite entlassen. Darauf folgend besteht die Möglichkeit mehrerer Transportwege, um die Stoffe letztendlich den Lysosomen oder Plasmamembran zur Sekretion aus der Zelle zuzuführen (s. Abbildung 19).

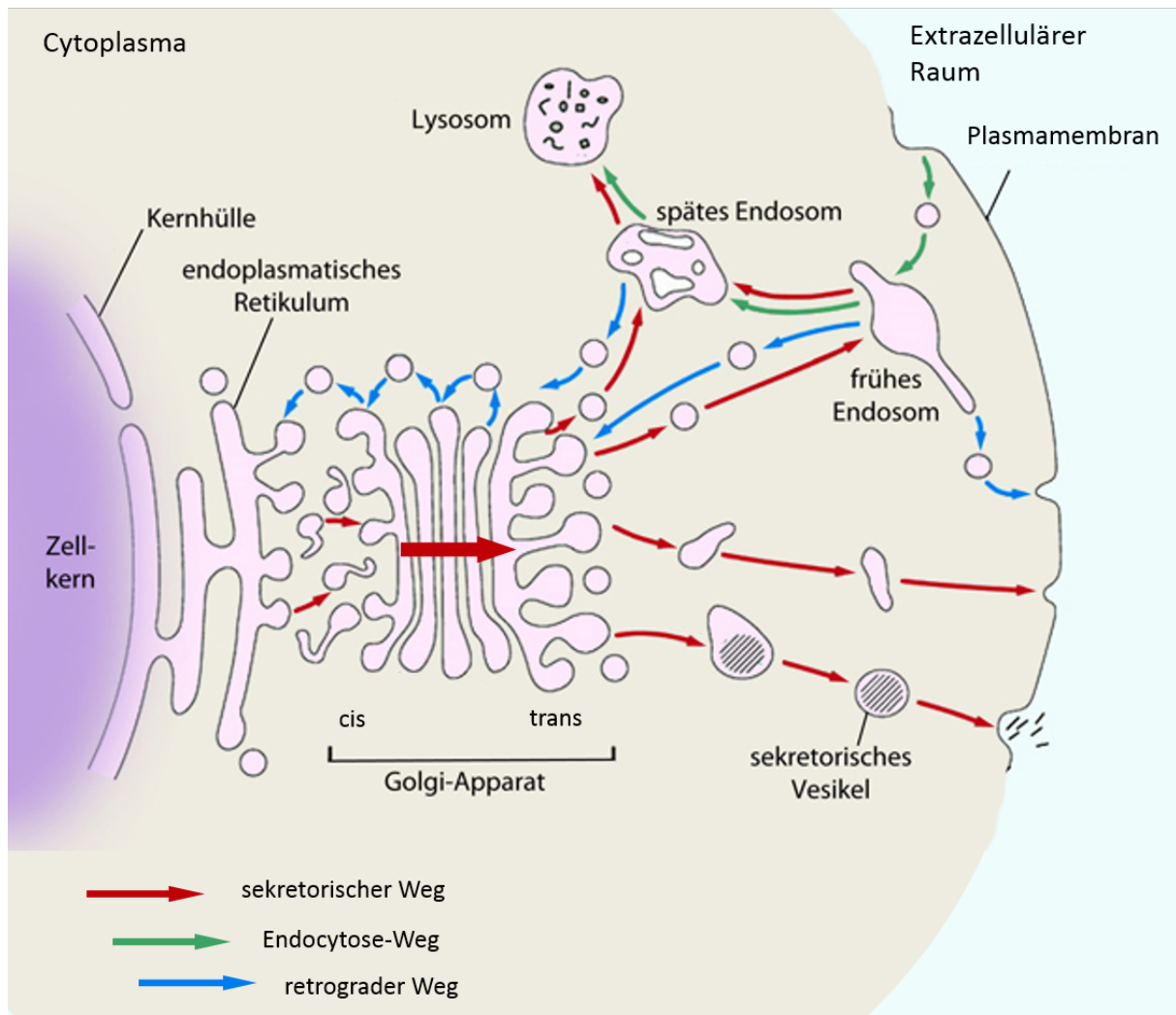


Abbildung 19 Transportwege durch die Zelle (verändert nach Alberts et al. 2011)

## 11.2 Beschreibung des Schulwissens und universitären Wissens

Zur Vorbereitung auf die Konzeption des Lehr-Lernarrangements wurde eine curriculare Analyse durchgeführt. Bei der curricularen Analyse geht es nicht darum, zu quantifizieren, wie groß der Anteil an Schulwissen in der universitären Vorlesung ist. Vielmehr war es das Ziel, systematisch zentrale Konzepte zum Themenbereich Biomembran innerhalb der Wissenskategorien *Schulwissen* und *universitäres Wissen* zu identifizieren. Leitende Fragestellungen waren dabei: Welche Lerninhalte sind innerhalb der von den Studierenden bereits besuchten universitären Vorlesung (Zellbiologie und z.T. Biochemie) abgebildet? Und: Welche Lerninhalte sind in Oberstufen-Schulbüchern abgebildet? Dabei galt es sowohl Überschneidungen und Unterschiede als auch verschiedene Schwerpunktsetzungen aufzudecken.

Die Vorlesung Zellbiologie an der Universität Potsdam ist dem Modul „Molekulare und zelluläre Biologie“ zugeordnet (Universität Potsdam 2013). Innerhalb dessen gehen auch die Vorlesungen Biochemie, Genetik und Molekularbiologie auf. Der Vorlesungsteil Zellbiologie erstreckt sich über acht Vorlesungstermine. Das gesamte Modul wird von Studierenden mehrerer Studiengänge belegt. Vertreten sind Lehramts-Bachelorstudierende im Fach Biologie für die Sekundarstufen I und II, Bachelorstudierende der Biowissenschaften und Bachelorstudierende der Ernährungswissenschaften. Die Themen der Vorlesung Zellbiologie umfassen einerseits die Methoden der Zellbiologie, andererseits zelluläre Prozesse wie die Endocytose, Vesikelfusion aber auch Struktur und Funktion von zellulären Strukturen, wie dem Golgi-Apparat, dem Cytoskelett, die Funktionsweise von Motorproteinen und die extrazelluläre Matrix. Zusammenfassend liegt der Fokus der Vorlesung eher auf einer Dynamik von zellulären Strukturen und Prozessen, als auf einer Beschreibung der Struktur und Funktion einzelner Organellen, wie es in zellbiologischen Vorlesungen anderer Universitäten der Fall ist (z.B. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel 2017; Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg 2018).

Inhaltlich wird sich in den folgenden Ausführungen auf den in dieser Arbeit thematisch relevanten Themenbereich der Biomembran bezogen. Aspekte bezüglich dieses Themenbereiches wurden im Modul hauptsächlich in der Vorlesung Zellbiologie und zu einem kleinen Teil in der Vorlesung Biochemie (Themenbereich Struktur von Lipiden) behandelt. Auch in den entsprechenden Physiologie-Vorlesungen, spielen Vorgänge an Biomembranen eine Rolle. Da diese Vorlesungen von einem Teil der Studierenden allerdings erst zu einem späteren Zeitpunkt im Bachelor-Studium wahrgenommen wurden, kann dieses Wissen (zumindest innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens) nicht vorausgesetzt werden. Inhaltlich betrifft dies die Transportvorgänge über integrale Membranproteine. Im folgend beschriebenen Kategoriensystem wird dieser Themenbereich daher ausschließlich innerhalb des Schulwissens operationalisiert.

Für die Ermittlung des universitären Wissens wurde die Vorlesung Zellbiologie (und zu Teilen die Vorlesung Biochemie) anhand der Vorlesungsunterlagen aus dem Sommersemester 2016 analysiert. Spezifiziert und kontextuell untermauert wurden die Analysen durch die von den Dozierenden empfohlene Literatur.

Zunächst wurden die Vorlesungsinhalte in einer Tabelle paraphrasiert und kontextualisiert (s. beispielhafte Tabelle 10, Spalten 1-3). In Anlehnung an eine explizierende Inhaltsanalyse (Mayring 2015) (s. Kapitel 14) wurden die Inhalte zunächst in Stichpunkten paraphrasiert und durch eine vorgenommene Operationalisierung expliziert (s. Tabelle 10, Spalte 2). Die Operationalisierung diente auch zur Verdeutlichung der Tiefe der inhaltlichen



Auseinandersetzung. Zur Vereinheitlichung wurden die Operatoren auf *Nennen, Definieren, Beschreiben und Erklären* reduziert. Die Vorlesungsfolien werden größtenteils durch Abbildungen und weniger durch textliche Beschreibungen dominiert. Daher wurden die Inhalte in einem weiteren Schritt durch die von den Dozierenden empfohlene Literatur differenziert und kontextualisiert.

Darauf aufbauend wurden die Inhalte mit denen eines qualitativ hochwertigen Schulbuchs der Oberstufe hinsichtlich ihres Vorhandenseins verglichen. Um das Schulwissen nicht nur an einem einzigen Schulbuch festzumachen, werden zwei weitere Schulbücher als Vergleich mit herangezogen (s. Tabelle 10 Spalten 4-9). Die Schulbücher wurden anhand dessen ausgewählt, dass es sich hierbei um aktuelle und umfangreiche Oberstufen-Gesamtbände handeln muss. Die mögliche Auswahl wurde dabei im Kollegium der AG Biologie-Didaktik der Universität Potsdam besprochen und ist auf folgende drei Bände gefallen: „Linder Biologie Oberstufe“ (Bayrhuber et al. 2012), „Campbell Biologie, Gymnasiale Oberstufe“ (Campbell und Reece 2011) und „Cornelsen Oberstufe Biologie“ (Weber 2015). Um die Tiefe der inhaltlichen Auseinandersetzung zu differenzieren, wurde (analog zu den Vorlesungsinhalten) eine Operationalisierung vorgenommen. So wird ein Überblick über die Inhalte gewonnen, die augenscheinlich einen reinen universitären Bezug aufweisen (s. Tabelle 10, Zeile 4). Mit Hilfe dieses Vergleichs vom universitär vermittelten Wissen ausgehend, können für das neue Lehr-Lernarrangement geeignete Inhalte besser ausgewählt werden, als bei ausschließlicher Analyse der Vorlesungsunterlagen oder der Schulbücher, da hierbei entweder der Schulbezug oder der Wissenschaftsbezug eventuell verloren gehen würde.

Die Bestimmung der Inhalte, welche *vorhanden, teilweise vorhanden* oder *nicht vorhanden* sind, gestaltet sich entsprechend Abbildung 20. *Vorhanden* ist, welche Inhalte vollständig oder nahezu vollständig in der Vorlesung und im Schulbuch übereinstimmen. *Teilweise vorhanden* ist, wenn die Inhalte des Schulbuchs weniger Details aufweisen als in der Vorlesung oder anders operationalisiert sind. Wenn die Inhalte im Schulbuch nicht auftauchen, wird als *nicht vorhanden* klassifiziert. Durch die Attribute *vorhanden, teilweise vorhanden* und *nicht vorhanden* kann dann für jeden Inhalt bestimmt werden, ob es sich um Schulwissen, rein universitäres Wissen oder eine Mischform handelt.

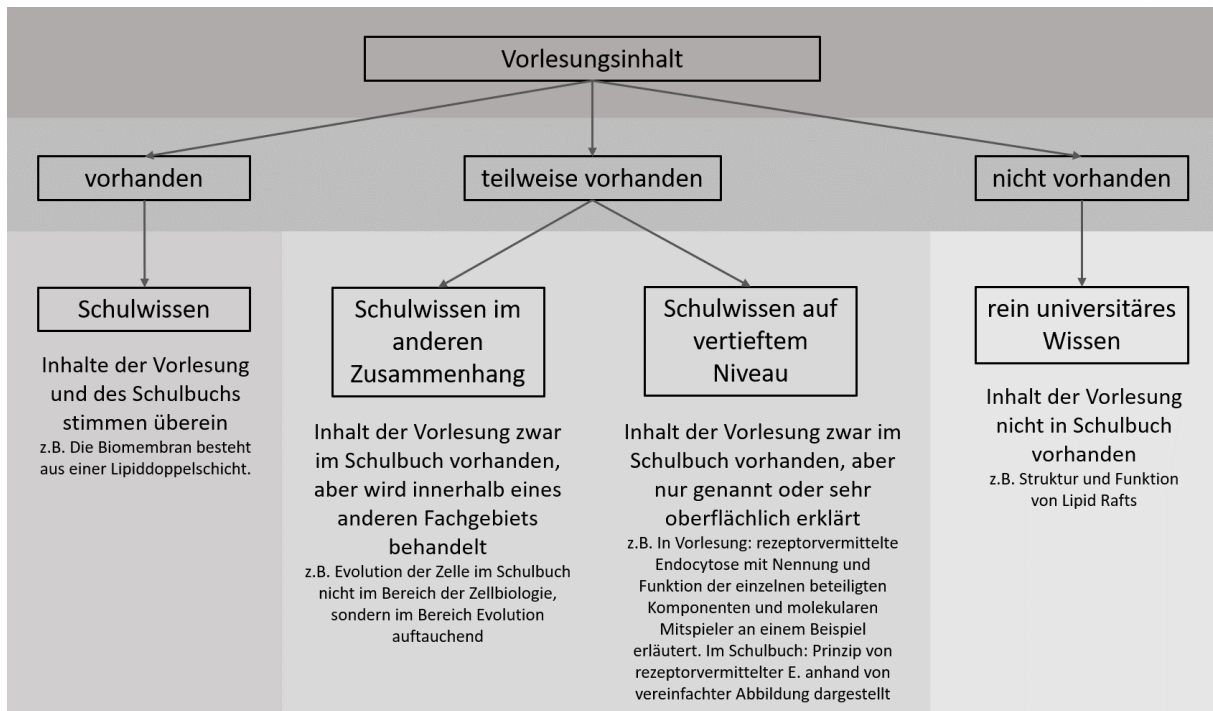


Abbildung 20 Vorgehen zur Bestimmung der Wissenskategorien "Schulwissen" und "universitäres Wissen"

Eine besondere Herausforderung ist die Abgrenzungen in der Kategorie *teilweise vorhanden*. Da Vorlesungsunterlagen und Schulbücher neben textlichen Formaten oft mit anderen Darstellungsweisen arbeiten, müssen für verschiedene Darstellungsformen (Abbildung, Texte, Tabellen, Diagramme) Abgrenzungskriterien definiert werden (s. Tabelle 9). Die Kategorie *teilweise vorhanden* ist für die inhaltliche Ausgestaltung des Lehr-Lernarrangements besonders interessant, weil Inhalte entweder in einem anderen Zusammenhang oder im Schulbuch nur oberflächlich und ohne weitere Erklärung auftauchen. Hierbei wird davon ausgegangen, dass genau diese Inhalte, Ansatzpunkte für die nähere Auseinandersetzung darstellen, da sie eine augenscheinliche Nähe zu schulischen Inhalten aufzeigen und eine Brücke zwischen dem Schulwissen und dem rein universitären Wissen schlagen können.

Tabelle 9 Entscheidungskriterien für die Kategorie "teilweise vorhanden" bei unterschiedlichen Darstellungsformen

Darstellungsform	Ausprägungen der Kategorie „Teilweise vorhanden“
<b>Abbildungen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weniger Beschriftungen</li> <li>- Weniger Details</li> <li>- Einfache Bezeichnungen</li> <li>- Deutsche Bezeichnungen (im Vgl. zu lt. o. engl. Bezeichnungen)</li> </ul>
<b>Text</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Weniger detailliert beschrieben</li> <li>- Einfache Bezeichnungen</li> <li>- Deutsche Bezeichnungen (im Vgl. zu lt. o. engl. Bezeichnungen)</li> <li>- Alltagssprache (im Vgl. zu Fachsprache)</li> </ul>
<b>Tabelle/ Modelle/ Diagramme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niedrigerer Vernetzungsgrad</li> <li>- Einfache Bezeichnungen</li> <li>- Deutsche Bezeichnungen (im Vgl. zu lt. o. engl. Bezeichnungen)</li> <li>- Weniger Details</li> <li>- Weniger Beschriftungen</li> </ul>

Spezifizierung des fachlichen Lerngegenstands

Tabelle 10 Beispielhafte Durchführung des curricularen Vergleichs von Vorlesungsinhalten mit Schulbuchinhalten

VL/ Folien -Nr.	Universitär vermitteltes Wissen - Operationalisierung	Differenzierung/ Kontext	Operationalisie- rung schulisches Wissen Schulbuch: Linder	Differenzierung/ Kontext Schulbuch: Linder	Operationalisie- rung schulisches Wissen Schulbuch: Campbell	Differenzierung/ Kontext Schulbuch: Campbell	Operationalisie- rung schulisches Wissen Schulbuch: Cornelsen	Differenzierung/ Kontext Schulbuch: Cornelsen
VL3 F4	Grundprinzip: Vesikelabschnürung und Vesikelfusion anhand schematischer Abbildung beschreiben	Vesikel knospen von einer Membran ab und verschmelzen mit einer anderen; dabei befördern sie Membranbestandteile und lösliche Proteine zwischen den Zellkompartimenten	<b>teilweise vorhanden</b> Vesikelabschnürung anhand von Abbildung als Voraussetzung für Endocytose und Stofftransport beschreiben	(Abbildung 43.3.) ER schnürt Vesikel ab + Erwähnung Vesikelfusion und Abschnürung im Zusammenhang mit Endo- und Exocytose (s. 51)	<b>vorhanden</b> Begriff Transportvesikel definieren, Bildung und Funktion von Transportvesikeln beschreiben	Sekretorische Proteine verlassen das ER, verpackt in Vesikel, die vom sogenannten transitorischen ER gebildet und abgeschnürt werden. Transportvesikel = Vesikel, die Stoffe von einem Ort der Zelle zu einem anderen bringen	<b>teilweise vorhanden</b> Vesikelab- schnürung und Fusion als Teil des Stofftransports (Endocytose, Exocytose und Membranfluss) beschreiben  Begriff Vesikel, Funktion von Vesikeln nennen	Größere Moleküle oder Nahrungspartikel können die Membran passieren, indem sie in Membranbläschen oder Vesikel eingeschlossen werden.
VL3 F15	Rezeptorvermittelte Endocytose mit Nennung der einzelnen beteiligten Komponenten und Mitspieler an einem Beispiel erläutern	LDL-Rezeptor: LDL-Partikel, Clathrin; Coated Pit, Dynamamin, Aktin, Coated Vesicle ...	<b>nicht vorhanden</b>	-	<b>teilweise vorhanden</b> Rezeptor- vermittelte Endocytose anhand einer einfachen schematischen Abbildung beschreiben	Rezeptor: Liganden, Coated Pit, Clathrin, Coated Vesicle ...	<b>teilweise vorhanden</b> Grundprinzip der rezeptorvermittelte n Endocytose beschreiben	Die rezeptorvermittelte Endocytose verläuft sehr spezifisch Rezeptorproteine ragen aus der Membran heraus. Sie tragen spezielle Erkennungsstrukturen, an die nur ganz bestimmte Moleküle binden. [...] Stichwörter: coated pits und coated Vesikel
VL3 F19	Struktur und Funktion von Lipid- Rafts beschreiben	Lipid Rafts ("Lipidflöße") mit erhöhtem Anteil an Sphingomyelin und Glycosphingolipiden Rafts sammeln häufig: • GPI-verankerte Proteine, palmitoylierte /myristoylierte, cholesterinbindende, phospholipidbindende Proteine (=periphere Membranproteine) • Signallingproteine (z.B. src- Kinasen) • Virale Hüllproteine Rafts bilden häufig Caveolae	<b>nicht vorhanden</b>	-	<b>nicht vorhanden</b>	-	<b>nicht vorhanden</b>	-

Die zugehörigen Inhalte zu den Themenbereichen „Struktur und Funktion der Biomembran“ und „Stofftransport über die Biomembran“ haben sich als besonders fruchtbar für die Brückenschläge zwischen schulischem und universitärem Wissen herauskristallisiert. Dem Thema Biomembran wird sowohl in der Universität als auch in der Schule eine hohe Bedeutung beigemessen. Der Fokus auf diese Thematik ergab sich auch nach dem ersten prototypischen Durchlauf der Lehrveranstaltung im Wintersemester 2016/2017. In diesem Durchlauf (der nicht in die Datenerhebung eingegangen ist) wurde weitaus weniger fokussiert und mit weniger Stringenz an einzelnen zellbiologischen Teilthematiken gearbeitet. Eine Konzentration auf einen ausgewählten zellbiologischen Themenbereich hat sich als sinnvoll erwiesen, da sich die Studierenden dadurch gezielter auf die Thematik einlassen können und an mehreren Stellen Gelegenheit haben, ihr Vorwissen zu reaktivieren.

Durch die gewonnenen Explikationen, Paraphrasen und Kontextualisierungen wurden schließlich inhaltliche Kategorien in Form von wissenschaftlichen Konzepten in Anlehnung an Gropengießer et al. (2010) gewonnen. Innerhalb des rein universitären Wissens ergaben sich folgende Kategorien und deren Subkategorien:

Tabelle 11 *Konzepte (Kategorien und Subkategorien) zum universitären Wissen im Themenbereich "Struktur und Funktion der Biomembran"*

Konzepte innerhalb des rein universitären Wissens der Vorlesungen Zellbiologie und Biochemie zum Thema Struktur und Funktion der Biomembran
<p><b>Lipide sind amphiphile Moleküle</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lipide sind veresterte Fettsäuren</li> <li>• Glycerophospholipide sind die häufigste Klasse von Membranproteinen</li> <li>• Cholesterin liegt als schwach amphiphiles Steroid vor</li> <li>• Glykolipide enthalten statt einer Phosphatgruppe einen oder mehrere Zucker</li> <li>• Lipide sind amphiphile Moleküle</li> </ul> <p><b>Fettsäuren sind Bestandteile von Lipiden</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fettsäuren sind Membranbausteine und Energieträger</li> <li>• Fettsäuren sind amphiphil</li> <li>• Fettsäuren können in gesättigter und ungesättigter Form vorliegen</li> <li>• Ungesättigte Fettsäuren besitzen nicht konjugierte Doppelbindungen mit starrer Krümmung</li> <li>• Ungesättigte Fettsäuren sind weniger dicht gepackt</li> </ul> <p><b>Lipide lagern sich zusammen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lipide bilden Monolayer auf Wasseroberfläche</li> <li>• Es bilden sich Micellen durch Zusammenlagerung hydrophober Bereiche, wenn kritische Micellarkonzentration erreicht ist</li> <li>• Glycerophospholipide und Sphingolipide bilden Bilayer, die nicht permeabel für ionische Substanzen sind</li> <li>• Biologische Membranen sind Bilayer</li> <li>• Lipide, die Bilayer bilden, bilden Liposomen durch Zusammenlagerung hydrophober Bereiche</li> </ul> <p><b>Membranfluidität ermöglicht Beweglichkeit von Membranbestandteilen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Membranfluidität ist notwendig für die Beweglichkeit der Membranproteine</li> <li>• Wird durch Cholesterin moduliert</li> <li>• Die Übergangstemperatur bei einem Phasenwechsel der Membran ist abhängig davon, ob in der Membran mehr gesättigte oder ungesättigte Fettsäuren vorliegen</li> <li>• Eine transversale Diffusion von Phospholipidmolekülen muss katalysiert werden (Flipase, Floppase, Scramblase)</li> <li>• Eine laterale Diffusion läuft sehr schnell ab</li> </ul> <p><b>Membranen sind asymmetrisch aufgebaut</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Innen- und Außenseite von biologischen Membranen sind unterschiedlich zusammengesetzt</li> <li>• Glykolipide und Oligosaccharidketten kommen nur außen vor</li> <li>• Verschiedene Phospholipide sind unterschiedlich verteilt</li> <li>• Membranproteine (integrale und periphere) sind mit einer bestimmten Orientierung in der Membran eingebettet</li> </ul> <p><b>Integrale Membranproteine sind amphiphil und können in verschiedenen Strukturen vorliegen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Integrale Membranproteine sind amphiphil, d.h. der Bereich, der die Membran durchzieht, ist hydrophob</li> <li>• Können als <math>\alpha</math>-Helices und <math>\beta</math>-Faltblätter vorliegen</li> <li>• <math>\beta</math>-Faltblätter finden sich in vor allem in bakteriellen und mitochondrialen Membranen als Porine (weite unflexible Kanäle)</li> </ul>

<p><b>Lipid Rafts als organisierte Strukturen in der Zellmembran</b></p> <p>Struktur:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sind Membranabschnitte mit erhöhten Anteil an Shingomyelin, Glycosphingolipiden und Cholesterin</li> <li>• Bewirken größere Membrandicke</li> </ul> <p>Funktion:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sammlung bestimmter Proteine mit bestimmten Funktionen (cholesterinbindend, Signalproteine, virale Hüllproteine)</li> <li>• bilden häufig Caveolae (Endocytose-Strukturen)</li> <li>• Visualisierung: Über Kraftmikroskopie</li> </ul> <p><b>Lipidklassen beeinflussen die Membranstruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lipidklasse beeinflusst Membrandicke</li> <li>• Lipidklasse beeinflusst Membrankrümmung</li> </ul>
---

Zweifellos kann es sich hierbei lediglich um einen Versuch handeln, Subjektivität einzugrenzen. Auch diese Inhalte, die als rein universitäres Wissen klassifiziert werden, weil kein augenscheinliches Vorhandensein im Schulbuch ausgemacht werden kann, haben selbstverständlich trotzdem einen mehr oder weniger stark ausgeprägten Bezug zu den in der Schule vermittelten Inhalten. Studierende sind aufgefordert sich diese Zusammenhänge entweder eigenverantwortlich im Verlauf ihres fachwissenschaftlichen Studiums oder angeleitet, z.B. in der dieser Studie zu Grunde liegenden Lehrveranstaltung, zu erschließen

Weiterhin wurden die Konzepte innerhalb des Schulwissens bestimmt, indem jene drei ausgewählten Schulbücher und noch ein weiteres Schulbuch (Markl Biologie Oberstufe; Gemballa und Markl 2010) inhaltsanalytisch untersucht wurden. Stets muss bedacht werden, dass es sich hierbei nur um eine Annäherung an das Schulwissen handeln kann. Schulbücher können detaillierter als Rahmenlehrpläne aufzeigen, welche Inhalte in der Schule zur Sprache kommen. Die letztendliche Entscheidung, in welcher Tiefe und Breite die einzelnen fachlichen Inhalte behandelt werden, obliegt jedoch der Lehrkraft. Mit Blick auf die zur Verfügung stehenden Unterrichtsstunden und die Fülle der zu behandelnden Themen kann gleichwohl davon ausgegangen werden, dass (in einem Großteil der Fälle) die biologischen Inhalte eher weniger detailliert behandelt werden, als sie in den hier untersuchten Schulbüchern ausgeführt werden.

Auch bei der Gewinnung der Konzepte zum Schulwissen (s. Tabelle 12) wurde nach der Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring 2015) vorgegangen (s. Kapitel 14). Zunächst wurden die Inhalte paraphrasiert, generalisiert und anschließend zur Kategorienbildung expliziert.

Tabelle 12 *Beispielhafte Generierung von Konzepten innerhalb des Schulwissens anhand des Schulbuchs Linder Biologie Oberstufe (Bayrhuber et al. 2004)*

Paraphrasierung	Generalisierung	Kategoriensystem: Konzepte mit Beschreibungen
<b>Bau und Funktion von Membranen</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• besteht aus einer Lipiddoppelschicht mit hydrophilen und hydrophoben Anteilen, polare Lipide</li> </ul>	Doppellipidschicht	Konzept: Bau der Membran <ul style="list-style-type: none"> <li>- bestehen hauptsächlich aus Lipiden mit hydrophobem und hydrophilem Anteil</li> <li>- bilden Doppellipidschicht</li> <li>- Membranproteine können aufgelagert sein</li> <li>- Membranproteine können als Transmembranproteine vorliegen</li> <li>- Kohlenhydratseitenketten</li> </ul> Konzept: Funktion der Membran <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ermöglicht Kompartimentierung</li> <li>- Schließt Räume ab und bildet Vesikel</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• außen sind Kohlenhydrate aufgelagert</li> </ul>	Kohlenhydratseitenketten	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteine sind aufgelagert oder eingelagert</li> </ul>	Aufgelagerte und durchgängige Membranproteine	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompartimentierungsregel: Reaktionsräume sind unterteilt in einen plasmatischen und einen nichtplasmatischen Reaktionsraum</li> </ul>	Kompartimentierungsregel	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membranen bilden nie freie Enden, sondern umschließen stets einen Raum</li> </ul>	Bilden Vesikel	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abtrennung von Membranteilen in</li> </ul>	Bilden Vesikel	

Form von Vesikeln		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Membranfluss als Veränderung der Membran</li> <li>- Membranproteine ermöglichen verschiedene Funktionen</li> <li>- [...]</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neubildung, Vergrößerung, Abtrennung, Verschmelzung und Formveränderungen bezeichnet man als Membranfluss</li> </ul>	Membranfluss	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammensetzungen der Membranproteine unterschieden sich bei Membranen</li> </ul>	Unterschiedliche Funktionen durch unterschiedliche Membranproteine	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusammensetzungen der Membranproteine bestimmen Membranfunktion</li> </ul>	Unterschiedliche Funktionen durch unterschiedliche Membranproteine	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• [...]</li> </ul>	[...]	

Für das Schulwissen ergaben sich durch den Vergleich aller vier Schulbücher und der dafür ermittelten Konzepte folgende Konzepte des Schulwissens für den Themenbereich Biomembran

Tabelle 13 Konzepte (Kategorien und Subkategorien) zum Schulwissen im Themenbereich "Struktur und Funktion der Biomembran"

<b>Konzepte innerhalb des Schulwissens zum Thema Struktur und Funktion der Biomembran</b>
<p><b>Lipide sind Hauptbestandteile einer Lipiddoppelschicht</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lipide sind wasserunlöslich</li> <li>- Phospholipide bestehen aus Glycerin mit 2 FS und einer Phosphatgruppe</li> <li>- Lipiden haben hydrophoben und hydrophilen Anteil</li> <li>- Ort der Synthese von Lipiden glattes ER</li> </ul>
<p><b>Lipiddoppelschicht stellt die Grundstruktur einer Biomembran dar</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sehr dünn</li> <li>- Glykolipide</li> <li>- Glykoproteine</li> <li>- Kohlenhydratseitenketten</li> <li>- aufgelagerte und durchgängige Proteine</li> <li>- zähflüssige Konsistenz</li> </ul>
<p><b>Membranen weisen vielfältige Funktionen auf</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Membran ist eine physiologische Barriere</li> <li>- Kontakt und Erkennungszone durch Membranproteine und Kohlenhydratseitenketten</li> <li>- Kompartimentierung durch Bildung von Reaktionsräumen</li> <li>- unterschiedliche Funktionen durch unterschiedliche Membranproteine</li> <li>- Weiterleitung von Signalen durch Rezeptorproteine</li> </ul>
<p><b>Der Transport durch Membranen erfolgt aktiv oder passiv</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- passiver Transport, ohne Energie aufgrund des Konzentrationsgefälles, aktiver Transport, mit Energie, da gegen Konzentrationsgefälle, spezifischer und gerichteter Transport</li> <li>passiv                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- Einfache Biomembran für kleine unpolare Moleküle permeabel</li> <li>- für Gase bildet Membran keine Barriere</li> <li>- selektive Permeabilität: Osmose</li> <li>- Kanal - und Transportproteine erleichtern bzw. beschleunigen die Diffusion durch Membran, z.B. Aquaporine</li> <li>- Kanal - und Carriertransport für größere Stoffe</li> </ul> </li> <li>aktiv                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- Carriertransport: kurzzeitige Bindung des zu transportierenden Moleküls und Transfer durch das Protein (im Unterschied zu Kanalprotein)</li> <li>- Carriertransportsysteme: Uniport, Antiport und Symport</li> </ul> </li> </ul>
<p><b>Membranfluss findet zwischen Kompartimenten des Endomembransystems statt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Endomembransystem besteht aus: glatten und rauem ER, Zwischenraum der Kernhülle und dem Golgi -Apparat</li> <li>- mithilfe von Vesikeln findet ein intensiver Membranfluss zwischen verschiedenen Reaktionsräume einer Zelle findet statt</li> <li>- Vesikelabschnürung in Form von Endocytose: Pinocytose, Phagocytose und rezeptor-vermittelte Endocytose</li> <li>- Membranen von Mitochondrien und Plastiden nehmen nicht an den Membranfluss teil</li> <li>- das Endomembransystem produziert, verpackt, verschickt und recycelt</li> </ul>
<p><b>Die Struktur von Biomembran wird in Modellen dargestellt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Membran als Doppellipidschicht durch Anordnung der Lipide im Wasser</li> <li>- Davson-Danielli-Modell: Proteine sind in Lipiddoppelschicht vorhanden aber ohne genaue Lokalisation - und Funktionsbeschreibung</li> </ul>

- Sandwichmodell: Doppellipidschicht von Proteinschicht innen und außen umgeben
- Flüssig-Mosaik-Modell: Proteine sind in Lipiddoppelschicht unregelmäßig vorhanden mit Lokalisations- und Funktionsbeschreibung
- Gefrierbruchtechnik und Gefrierätzung zur Sichtbarmachung der Membranstruktur

Die gewonnenen Konzepte aus dem universitären Wissen und dem Schulwissen dienen im späteren Verlauf der Studie auch der inhaltlichen Auswertung von video-/audiographierten Lernprozessen und Studierendendokumenten. So kann systematisch ermittelt werden, ob Studierende eher auf der Ebene des Schulwissens oder auf der Ebene des universitären Wissens argumentieren und bezüglich welcher Inhalte sie besser oder weniger gut in der Lage sind, Verknüpfungen zwischen Schulwissen und universitären Wissen herzustellen.

### **11.3 Schüler- und Studierendenvorstellungen zum fachlichen Gegenstand der Zellbiologie und insbesondere der Biomembran**

Wenn in universitären Lehrveranstaltungen mit Fachwissen gearbeitet wird, ist es (analog zum Unterricht in der Schule) sinnvoll Studierendekonzepte zu berücksichtigen und darüber hinaus für die zukünftige Lehre zugänglich zu machen. Auch Prediger et al. (2015) arbeiten heraus, dass gegenstandsspezifische Perspektiven von Lehrkräften stärker in Fortbildungen mit einbezogen werden müssen. Wie in Kapitel 7.3 aufgezeigt, zeigen mehrere Studien, dass Lehrkräfte über ähnliche Alltagsvorstellungen verfügen, wie Schüler\*innen. Dort anzusetzen und für biologische Inhaltsbereiche auch Studierendekonzepte und mögliche Entwicklungen von Studierendekonzepten zu berücksichtigen, bringt die beiden Forschungszweige Professionalisierungsforschung und Vorstellungsforschung in fruchtbarer Art und Weise zusammen.

Auch die Forschung zu (Lehramts-)Studierendenvorstellungen zeigt ein recht umfassendes Bild davon auf, dass (Lehramts-)Studierende, wie auch Schüler\*innen, über Alltagsvorstellungen zu verschiedensten biologischen Themen verfügen. So konnten beispielsweise Kurt et al. (2013) feststellen, dass Lehramtsstudierende über Vorstellungen zur Reproduktion verfügen, die nicht den fachlichen Vorstellungen entsprachen. In einer anderen Studie zum Vergleich der Vorstellungen zum Gas-Konzept von Schüler\*innen und angehenden Chemie-Lehrkräften zeigten Demircioğlu und Yadigaroglu (2014), dass die Vergleichsgruppen über die gleichen fachlich unangemessenen Vorstellungen verfügten.

Bereits in den 1990er Jahren beschäftigten sich Wandersee et al. (1994) mit Vorstellungen von Lehrkräften, um zu verstehen, wie sich Schülervorstellungen entwickeln. Dabei konnten sie als ein wichtiges Ergebnis zeigen, dass Lehrkräfte und ihre Äußerungen als Quelle von Alltagsvorstellungen benannt werden können. Demensprechend zeichnet sich ein Bild, in welchen Alltagsvorstellungen sich auch nach der Konfrontation mit universitären Lernangeboten als sehr persistent erweisen.

Das Design der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Studie sieht vor, Studierendenvorstellungen einerseits zu rekonstruieren und andererseits im Lehrveranstaltungsdesign zu berücksichtigen. Die Erforschung von Studierendenvorstellungen steht in der Tradition der Forschung zu Schülervorstellungen und basiert auf den gleichen theoretischen Annahmen (Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens, Conceptual-Change-Theorie, Theorie des bedeutungsvollen Lernens). Je nach Fragestellungen werden Studierendenvorstellungen zu fachwissenschaftlichen (z.B. Brumby

1979; Nehm und Schonfeld 2008; Reinisch 2018) oder fachdidaktischen Themen (z.B. Haagen-Schützenhöfer 2014; Schwanewedel et al. 2013; Dannemann et al. 2018) rekonstruiert.

Vorstellung von Studierenden zu zellbiologischen Themen wurden bisher weniger beforscht. Schülervorstellungen sind hingegen in zahlreichen Studien rekonstruiert worden. Flores et al. (2003) zeigen beispielsweise, inwiefern sich (fachlich unangemessene) Vorstellungen zur Zelle bei jüngeren Schüler\*innen, älteren Schüler\*innen und bei Studierenden unterscheiden. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass ein Großteil der fachlich nicht angemessenen Vorstellungen von Studierenden, denen von älteren Schüler\*innen entsprechen. Hinzu kommen fachlich nicht angemessene Vorstellungen von biologischen Prozessen, wie Stoffumwandlung, Zellatmung und Osmose. Auch bei Studierenden werden oft anthropomorphe Sichtweisen und Schwierigkeiten hinsichtlich der Bedeutung von Begriffen ausgemacht. Hesse (2002) konnte in einer Studie bei Lehramtsstudierenden ein alarmierend geringes Wissen über grundständige zellbiologische Begriffe und Prozesse feststellen.

Weiterhin existieren rekonstruierte Vorstellungen von jüngeren Lernenden zur Zellteilung (Riemeier 2005; Edwards Roland 2009). Hier wurde beispielsweise festgestellt, dass Schüler\*innen nicht in Erwägung gezogen haben, dass die Produkte einer Zellteilung durch die der Teilung folgenden Wachstumsphasen größer sind, als die ursprüngliche Zelle.

Was Vorstellungen von Schüler\*innen zu biologischen Membranen angeht, so wurde festgestellt, dass die Mechanismen der selektiven Permeabilität nicht geläufig sind und sie stattdessen von einer „Siebwirkung“ der Membran ausgehen (Dreyfus und Jungwirth 1988). Auch Flores et al. (2003) konnten lernhinderliche Vorstellungen bezüglich der Funktion biologischer Membranen bei Schüler\*innen der High-School feststellen. So wurde der Membran von einigen der untersuchten Lernenden beispielsweise eine Bestrebung zugesprochen, die von der Zelle benötigten Stoffe aktiv zu selektieren.



## 12 Entwicklung des Lehrveranstaltungs-Designs

Innerhalb der folgenden Ausführungen wird auf die theoriebasierte Entwicklung der gesamten Lehrveranstaltung „Aufarbeitung universitären Fachwissens für schulische Kontexte“ fokussiert.

Im Rahmen dieser Studie wurde eine additive Lehrveranstaltung geplant, d.h. die Studierenden sind bereits mindestens über den Besuch der Vorlesungen zum Modul „Molekulare und zelluläre Biologie“ und das Absolvieren der Prüfung mit dem universitären Wissen in Kontakt gekommen. Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass das universitär oder schulisch vermittelte Fachwissen zu Beginn der Lehrveranstaltung in dem Sinne vorliegt, wie es durch die curriculare Analyse ermittelt wurde. Um einen Überblick über das tatsächlich vorhandene Fachwissen zu gewinnen, wurde zu Beginn der Lehrveranstaltung ein Vorwissenstest durchgeführt. Dieser diente allerdings auch für die Studierenden als eine Möglichkeit der ersten gedanklichen Auseinandersetzung mit den fachlichen Inhalten der Lehrveranstaltung. Für einige wenige Studierende liegt der Besuch der oben beschriebenen Vorlesungen mehr als zwei Semester zurück.

Die Lehrveranstaltung ist darauf ausgelegt, Lerngelegenheiten zu bieten, die explizit auf die Förderung von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext* abzielen. Dementsprechend wurden die inhärenten Lernaufgaben anhand der Facetten des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* als Leitlinie konzipiert. Nach einer Definition von Ralle et al. (2014, S. 9) sind Lernaufgaben „[...] Aufgabenstellungen (samt zugehöriger Lernumgebung), mit denen [...] [Lernende] sich neue fachliche Inhalte oder Vorgehensweisen erarbeiten, konsolidieren oder diese üben festigen.“

In dieser Lehrveranstaltung liegt der Fokus auf dem Wiederholen und Anwenden ausgewählter biologischer Inhalte, die in der Schule, in Vorlesungen und/oder durch Klausurvorbereitungen kennengelernt wurden. Der gebotene Kontext ist allerdings durch den expliziten Berufsfeldbezug der Lernaufgaben ein anderer als in der vorherigen inhaltlichen Auseinandersetzung. Im Sinne des *Cognitive Flexibility Ansatz* (s. Kapitel 7) verbindet sich damit die Annahme, dass die Studierenden stabilere Wissensstrukturen aufbauen können und die Inhalte unter Einbezug einer Vermittlungsabsicht rekapitulieren und bewerten können.

Die Lernangebote und zugehörigen Instruktionen werden weitgehend nach dem *Cognitive-Apprenticeship-Ansatz* (s. Kapitel 7) strukturiert. Nach einer Inputphase folgt eine eigenständige, aber dennoch geleitete Arbeitsphase. Diese Arbeitsphasen sind im Verlauf der Sitzungen durch eine steigende Eigeninitiative, die zu Bewältigung notwendig ist, gekennzeichnet.

Um (im Sinne Ausubles) *bedeutungsvolles Lernen* (s. Kapitel 7.1) zu ermöglichen muss das Vorwissen der Studierenden einbezogen werden. Die geschieht größtenteils durch Erhebungen in Form eines Vorwissenstests und einer kooperativ erstellten Concept Map. Andererseits wird sich den Vorstellungen auch über bereits existierende Rekonstruktionen von (Schüler-)Vorstellungen genähert.

Insgesamt wird im Folgenden das Lehrveranstaltungsdesign des letzten Zyklus theoriebasiert in den Blick genommen. Eine Übersicht über die einzelnen Sitzungen findet

sich in Tabelle 14. Die hier vorgestellten Ausschnitte von Materialien<sup>14</sup> wurden im Laufe der Iterationszyklen entwickelt. Die Ausführungen zu den Entscheidungen hinsichtlich der Iteration finden sich in den Kapiteln 16.1.3, 16.2.3, 16.3.3. und 17.

Tabelle 14 Übersicht über die Abfolge der jeweiligen Lehrveranstaltungssitzungen und den dazugehörigen Lerngelegenheiten

	Thema und Lernaufgabe	Zellbiologischer Inhalt
1. Sitzung	Prätest Einführung - Universitäres Wissen „weiterdenken“	
2. Sitzung	Wissen sichtbar machen – Kooperative Erstellung einer Concept Map	Struktur und Funktion der Biomembran
3. Sitzung	„Fachliche Klärung“ als Teil der Didaktischen Rekonstruktion (I) – Open-Source Materialien dekonstruieren	Struktur und Funktion der Biomembran
4. Sitzung	„Fachliche Klärung“ als Teil der Didaktischen Rekonstruktion (II) – Schulbuchtexte dekonstruieren	Struktur und Funktion der Biomembran
5. Sitzung	Rekonstruktion fachlicher Texte (I) – Eine konzeptorientierte Sachanalyse schreiben	Stofftransport innerhalb der Zelle (Endo- und Exocytose)
6. Sitzung	Rekonstruktion fachlicher Texte (II) – Einen konzeptorientierten fachlichen Lerntext schreiben	Stofftransport innerhalb der Zelle (Endo- und Exocytose)
	Laut-Denken-Studie außerhalb der Seminarzeit	

## 12.1 Sitzung 1 – Prätest und Einführung

Die erste Sitzung der Lehrveranstaltung diene der Klärung organisatorischer Fragen, zur Durchführung des Vorwissenstests und zur Erwartungsabfrage an die Teilnehmenden. Der Vorwissenstest wird ausführlich in den Ausführungen zu den jeweiligen Design-Experimenten (s. Kapitel 14.2.1) beschrieben.

## 12.2 Sitzung 2 – Wissen sichtbar machen – Kooperative Erstellung von Concept Maps

Innerhalb der Lehr-Lernforschung stellen Concept Maps seit langer Zeit ein etabliertes Diagnose- und Elaborationsinstrument dar, um konzeptuelles Wissen zu messen oder dessen Aufbau zu fördern. Konzeptuelles Wissen (s. Kapitel 5.2) bezeichnet ein Netzwerk aus Schlüsselbegriffen einer Domäne. Eine vermehrte Anzahl an Verknüpfungen zwischen diesen Schlüsselbegriffen wird als ein zentrales Merkmal domänenspezifischer Expertise betrachtet (Glaser und Bassok 1989). In Zusammenhang mit der zuvor ausgeführten *Theorie des bedeutungsvollen Lernens* (Kapitel 7.1) erfolgt Lernen durch die Verknüpfung von bereits gelernten Inhalten mit neuen Wissensinhalten. Diese Verknüpfungen werden für die Lernenden durch die Erstellung von Concept Maps konkret erfahrbar. Concept Maps stellen mentale Repräsentationen in Gestalt mehrerer Begriffe (engl. *concepts*) dar, die durch beschriftete Pfeile miteinander in Beziehung gesetzt werden. Novak (1998, S. 98) definiert

<sup>14</sup> Die Materialien zu den Aufgabenstellungen finden sich im Anhang dieser Arbeit. Auf Anfrage werden auch gern die Folien zum Seminar bereitgestellt.

*concepts* als “[...] perceived regularity or pattern in events or objects, or records of events or objects, designated by a label”. Die Beschriftungen und die Richtung der Pfeile beschreiben und spezifizieren dabei den Zusammenhang zwischen den Begriffen. Die Struktur dieser Darstellungen deckt sich mit der Definition konzeptuellen Wissens nach Byrnes und Wasik (1991, S. 777): „Conceptual knowledge, [...] consists of the core concepts for a domain and their interrelations [...].” In diesem Sinne wird durch diese Lernaufgabe vor allem *erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext* hinsichtlich Facette 1 (*Wissen über Konzepte und die Anwendung im jeweiligen Fach*) gefördert.

Concept Maps können im Ergebnis sehr unterschiedliche Strukturen aufweisen. Sie können hierarchisch, kettenartig, netzartig, speichenartig oder auch zyklisch aufgebaut sein (Kinchin und Hay 2000; Vanides et al. 2005). Wie eine Concept Map angelegt wird – ob zum Beispiel hierarchisch oder nicht – ergibt sich aus dem darzulegenden Inhalt. Sobald ein Thema stark verknüpfte Elemente aufweist, empfiehlt sich eine netzartige Struktur (Ruiz-Primo und Shavelson 1997). Generell weist eine stärkere Vernetzung der Concept Map auch auf ein umfangreicheres mentales Netzwerk bezüglich des dargestellten Inhalts hin (Glaser und Bassok 1989).

Im Zusammenhang mit der Theorie des *Conceptual Change* (s. Kapitel 7.3) stellen Mintzes et al. (2001) heraus, dass sich Concept Maps als probates Mittel erweisen, um *misconceptions* aufzudecken, diese *misconceptions* den Lernenden bewusst zu machen und einen Conceptual Change anzubahnen. Als Diagnose-Instrument, um Conceptual Change sichtbar zu machen, wurden Concept Maps u.a. von Rebich und Gautier (2005) in einem Prä-Post-Design eingesetzt. In einer Metastudie konnten Nesbit und Adesope (2006) zeigen, dass die Arbeit mit Concept Maps äußerst förderlich ist zum Erlernen und Behalten von Inhalten, die einen geringen Anwendungsbezug zeigen. Bezüglich biologischer Inhalte erweist sich Concept Mapping vielfach als wirksam. Die größten positiven Effekte des Concept Mappings zeigen sich vor allem für Schüler\*innen mit geringerem kognitivem Fähigkeitsniveau (Haugwitz 2009). Diesen vielen positiven Ergebnissen zur Wirkung von Concept Mapping stehen diesen allerdings auch ernüchternde Ergebnisse gegenüber. Großschedl (2010) fand in seiner Studie keinen nennenswerten positiven Effekt von Concept Mapping als Lernstrategie gegenüber dem Notizen schreiben. Er fand allerdings einen Effekt für den Einsatz metakognitiver Prompts beim Concept Mapping. Metakognitive Prompts sind kurze Hinweise, die Lernende während des Entwicklungs- bzw. Lernprozess erhalten und die sich mit der Kontrolle der eigenen Kognition befassen.

Ein Problem des Concept Mappings stellt die wahrgenommene Zeitintensität zur Erstellung einer Concept Map dar. Im Vergleich zur Mind Map nimmt die Erstellung einer Concept Map, aufgrund der Herstellung von Querverbindungen (vor allem bei Novizen) mehr Zeit in Anspruch (Eppler 2006). Santhanam et al. (1998) konnten für die Arbeit mit Concept Maps im Hochschulbereich feststellen, dass Studierende sie trotz einer positiven Wahrnehmung nicht als reguläre Lernstrategie übernommen haben. Von den Autoren wird daher vorgeschlagen, einen stärkeren Fokus auf die Einführung der Methode zu legen und darin die Vorteile dieser Technik deutlicher hervorzuheben.

Beim kooperativen Concept Mapping handelt es sich um eine Lehr-Lernform, bei der zwei oder mehr Lernende gemeinsam an einer Concept Map arbeiten und somit ein gemeinsames Gruppen-Wissensnetz konstruieren. Die Vorteile von kooperativen Lernformen sind weitestgehend bekannt und anerkannt (Reinmann und Mandl 2006). Eine

Metaanalyse zeigte einen Vorteil für kooperatives Lernen im Vergleich mit lehrerzentrierten Strategien hinsichtlich des Lernerfolgs von Schüler\*innen (Schroeder et al. 2007). Im Mittelpunkt kooperativen Lernens stehen Diskursprozesse:

*„Kooperativ Lernende tauschen im Gespräch verschiedenen Perspektiven auf einen Lerninhalt aus und versuchen in der Diskussion ihre Auffassung einer gemeinsamen Einschätzung des Sachverhalts bzw. in einer gemeinsamen Problemlösung zu integrieren. Dabei äußern sie Vorwissen und klären die Bedeutung wichtiger oder unbekannter Wissenskonzepte aus der Lernumgebung“*

(Bruhn et al. 2000, S. 119).

Auch das Erfragen von Wissen durch andere Lernende spielt vor allem durch das Sichtbarmachen von Erklärungslücken eine große Rolle. Dadurch dass sich auf die Bedeutungen von Konzepten festgelegt werden muss, wird erwartet, dass sich lernförderliche kognitive Konflikte entwickeln. Individuelle Perspektiven werden in eine gemeinsame visuelle Konstruktion überführt. Konsensillusionen können demnach nur schlecht aufrechterhalten werden.

Roth und Roychoudhury (1993) konnten zeigen, dass kooperatives Concept Mapping einerseits zu einem vielversprechenden Diskurs zwischen Lernenden und zur Erweiterung des deklarativen Wissens führte. Andererseits wurden durch fehlende Korrektive allerdings auch wissenschaftlich falsche Aussagen als richtig angenommen und verwurzelt. Um dem zu begegnen schlagen Roth und Roychoudhury (1993) einerseits Korrektive in Form von weiterführenden Aufgabenstellungen (z.B. durch Leitfragen) und andererseits explizite Reflexionsanlässe zur Bewertung des Arbeitsergebnisses vor.

Die Instruktion zur Lerngelegenheit wurde auf Grundlage der soeben beschriebenen Erkenntnisse entwickelt. Eingeführt wird mit einem theoretischen Input seitens der Seminarleitung über konzeptuelles Wissen und Concept Mapping als Möglichkeit konzeptuelles Wissen einerseits zu generieren und andererseits sichtbar zu machen. Hier wird sich an das von Neuroth (2007) beschriebene Training angelehnt. Dieses ist vorrangig auf die Erstellung von Concept Maps zum besseren Textverständnis ausgelegt. Im hier konzipierten Lehr-Lernarrangement sind die Studierenden aufgefordert, eigenständig Concept Maps zu erstellen und in erster Linie ihr Vorwissen zu nutzen. Deshalb wird sich vor allem auf die Hinweise bzw. Regeln zur Erstellung einer Concept Map bezogen. Diese lauten: (1) Vermeide vollständige Sätze im Kasten (2) Vermeide vollständige Sätze auf den Pfeilen (3) Beschrifte die Pfeile nicht mit Substantiven, (4) Verbinde pro Pfeil immer nur zwei Kästen (Neuroth 2007).

Innerhalb der Arbeitsphase sind die Studierenden aufgefordert, im Team selbst eine Concept Map zu erstellen. Diese wird sich inhaltlich auf den Bau und die Funktion der Biomembran beziehen. Die Aufgabenstellung (s. Abbildung 21, komplettes Arbeitsblatt s. Anhang I.b) orientiert sich an den Erkenntnissen von Großschedl und Harms (2013) nachdem metakognitive Prompts sich positiv auf die Leistungen beim Concept Mapping auswirken. Weiterhin wurde auch eine Fokusfrage formuliert. Bei einer fehlenden Instruktion neigen Lernende zur Konstruktion von rein beschreibenden Concept Maps. Fokusfragen spezifizieren die Problemstellung, mit der sich die zu erstellende Concept Map auseinandersetzen soll. Jede Proposition soll sich nach Möglichkeit auf die Fokus-Frage beziehen (Cañas und Novak 2006). Chevron (2014) führt die Ansätze zur Formulierung von Fokusfragen noch weiter, indem sie ein zweidimensionales Modell der zu fördernden Fähigkeiten während der Erstellung von hierarchisch strukturierten Concept Maps vorlegt.

Dabei wurde sich zum einen auf die Taxonomie von Anderson et al. (2001) und zum anderen auf die Tyler Matrix (Tyler 1950) zur Instruktionsplanung bezogen. Dieses Vorgehen zur Erstellung der Concept Map ist stark angeleitet: Die Lernenden werden beim Konstruieren durch eine dezidierte Schrittfolge begleitet. Das Ziel der Intervention von Chevron (2014) ist die Erstellung einer stark strukturierten Concept Map. D.h. die Intervention ist ergebnisorientiert. Das Ziel der Lerngelegenheiten innerhalb der hier konzipierten Lehrveranstaltung hingegen ist die Aktivierung des Vorwissens. Die Intervention ist daher eher prozessorientiert. Die Concept Map und der Prozess der Erstellung dienen hier auch als Diagnosemöglichkeiten, um Vorstellungen von Studierenden zu rekonstruieren. Den Studierenden soll die Freiheit gewährt werden, eigene Vorstellungen zur Struktur und Funktion der Biomembran zu äußern. Wie aus Abbildung 21 zu entnehmen ist, wurden auf die Fokusfrage folgend, metakognitive Teilaufgaben verfasst. Von Chevron (2014) adaptiert wurden dabei Fragen zur Aktivierung von Fakten- und konzeptuellen Wissen auf Konzept- und Beispielebene sowie eine Frage zur Analyse der Herkunft des Wissens und eine Evaluationsfrage zum Ergebnis.

### Aufgabe

Erstellt im Team eine Concept Map auf einem für euch höchst möglichen Niveau zum Thema:

#### „Struktur und Funktion der Biomembran“

**Fokusfrage:** Wie können die Eigenschaften und die daraus folgenden Funktionen der Biomembran anhand ihres Aufbaus erklärt werden?

- Bringt dabei sowohl Inhalte, die ihr euch in der Zeit des Studiums angeeignet haben, als auch die Inhalte, die euch noch aus der Schule bekannt sind, ein.
- Berücksichtigt die für die Struktur und Funktion der Biomembran relevanten Konzepte, Prinzipien und Modelle. Beachtet dabei, dass Struktur und Funktion sich gegenseitig bedingen und nicht voneinander getrennt werden sollten.
- Gebt, wenn möglich, Beispiele für die von euch gewählten Begriffe/Konzepte und Verbindungen an (mündlich).
- Prüft, inwiefern die die erstellte Concept Map die Fokusfrage beantwortet

#### **Vorgehen:**

1. Sammelt vorerst Begriffe/Konzepte unter Zuhilfenahme eures eigenen Fachwissens und eurer bereits erstellten Concept Maps.
2. Wenn ihr damit fertig seid, dann nehmt ihr die von der Seminarleitung gestellten zusätzlichen Begriffe und versucht sie mit euren Begriffen in einer Concept Map in einen Zusammenhang zu bringen

Abbildung 21 Aufgabenstellung zur Erstellung einer kooperativen Concept Map - Auszug aus dem Arbeitsblatt

Als Materialien werden den Studierenden Flipchart Papier, verschiedenfarbige Stifte und zunächst leere Klebezettel zur Verfügung gestellt. Auf den Klebezetteln notieren sie die für sie als zentral betrachteten Begriffe. Durch die Klebezettel besteht die Möglichkeit die Begriffe anzuordnen, Strukturen zu verändern, zu erweitern oder zu verwerfen. Die Begriffe auf den Klebezetteln werden durch beschriftete Linien miteinander verbunden und in

Beziehung gesetzt. Die Studierenden werden aufgefordert erst ihr eigenes Vorwissen zur Erstellung der Concept Map zur Hilfe zu nehmen. Dazu diente auch der erste Versuch zur Erstellung einer Concept Map innerhalb des in der Sitzung durchgeführten Vorwissenstest (s. Anhang I.a).

Um eine stärkere Verknüpfung von universitärem und schulischem Wissen anzubahnen, wurden zehn Begriffe, die als zentrale Begriffe aus dem universitär vermittelten Wissen identifiziert wurden, hinzugefügt. Diese Begriffe waren fachlichen Inhalten zugehörig, welche zum Teil auch (oberflächlich) in Schulbüchern zu finden waren.

Die Studierenden waren nun aufgefordert diese Begriffe, sofern noch nicht vorhanden, in ihre eigene Concept Map zu integrieren. Es war ihnen möglich bei fachlichen Unsicherheiten auf bereitgestellte Auszüge aus Vorlesungsfolien und Literatur in Form eines Readers (Alberts und Graw 2012, S. 545–563; Campbell und Reece 2011, S. 163–183) zurückzugreifen. Abschließend sollten die Studierenden durch eine farbliche Markierung kennzeichnen, ob ihnen die einzelnen Inhalte aus der Schule oder der Universität bekannt waren. Da die Studierenden diese Kennzeichnung ebenfalls in Gruppen vornahmen, konnten teilweise auch mehrere Möglichkeiten der Herkunft eines Wissenslements benannt werden. Einen Erwartungshorizont in Form einer Experten Map<sup>15</sup>, die von einem Fachexperten auf fachliche Angemessenheit überprüft wurde, erhielten die Studierenden nach Abschluss dieser Lerngelegenheit. In diese Experten Map sind die durch curriculare Analysen gewonnenen Konzepte des schulischen und universitären Wissens eingegangen.

Im Anschluss an diese Arbeitsphase waren die Studierenden aufgefordert die Concept Maps ihrer Mitstudierenden zu begutachten und hinsichtlich der fachlichen Angemessenheit und der Vollständigkeit zu bewerten.

### **12.3 Sitzung 3 – „Fachliche Klärung“ als Teil der Didaktische Rekonstruktion (Teil 1) – Open-Source Materialien dekonstruieren**

Die gesamte Lerngelegenheit zur Dekonstruktion schulischer Materialien umfasst zwei Lehrveranstaltungstermine. Zu Beginn der Sitzung bekommen die Studierenden ihre mit der Software *CmapTools* transkribierten und durch die Seminarleitung kommentierten Concept Maps ausgeteilt. Die Kommentierung bezog sich auf die fachliche Angemessenheit, die vorgenommenen Verknüpfungen und die Vernetzung von Schulwissen und universitärem Wissen. Die Concept Map steht den Studierenden neben dem Reader (Alberts und Graw 2012, S. 545–563; Campbell und Reece 2011, S. 163–183) nun zur fachlichen Orientierung zur Verfügung.

Die Sitzung 3, welche den Auftakt für die Lerngelegenheiten zur Dekonstruktion bildet, widmet sich in einer Inputphase der Didaktischen Reduktion und der Didaktischen Rekonstruktion. Dabei wird das Verhältnis der beiden Vorgehensweisen zur Strukturierung eines wissenschaftlichen Sachverhalts unter Vermittlungsabsicht zueinander deutlich gemacht (s. Kap 9). In einer folgenden Erarbeitungsphase werden rekonstruierte Schülervorstellungen zur Zelle und Zellteilung (Riemeier 2005) in Gruppen diskutiert. Dabei

---

<sup>15</sup> Die Experten Map wird aus darstellungstechnischen Gründen nicht in diese Arbeit eingebettet. Auf Nachfrage wird sie gern zur Verfügung gestellt.

wird in der Aufgabenstellung bewusst von einer rein defizitär orientierten Betrachtungsweise der Schülervorstellungen abgewichen. Pauschale Bewertungen in den Kategorien *richtig* und *falsch* sind hier nicht gefordert. Stattdessen gilt es die Ambivalenz der Aussagen zu analysieren. Die Studierenden sind sowohl aufgefordert, die fachlich angemessenen Teile der Aussagen herauszustellen, als auch die fachlich unangemessenen Aussagenbestandteile zu identifizieren. Anhand von Beispielen sollen die Studierenden erläutern, inwiefern die Aussage erklärungs mächtig ist oder nicht. Wie bereits in Kap 7.3 gezeigt, muss die Stabilität von Vorstellungen berücksichtigt werden. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Vorstellungen der Studierenden in Gänze mit den wissenschaftlichen Vorstellungen übereinstimmen. In einigen Fällen stimmen sie eventuell auch mit den Vorstellungen von Schüler\*innen überein. Die Lernaufgabe bietet für die Studierenden demnach die Gelegenheit ihre eigenen Vorstellungen zu überprüfen. Da es sich hier um eine Gruppenarbeit handelt, müssen zur Ergebnisfindung eigene Konzepte externalisiert werden. Die Ergebnisse zu den einzelnen Schülervorstellungen werden anschließend präsentiert. Im Plenum werden die Vorstellungen schließlich einer Denkfigur zugeordnet (Riemeier 2007). Die analysierten Schülervorstellungen dienen den Studierenden auch dazu, die weiterhin zu erarbeitenden fachlichen Folgen von Reduktionen abschätzen zu können.

Anschließend werden die Teilaufgaben zur fachlichen Klärung nach Gropengießer et al. (2016) (s. Kapitel 9) durch die Seminarleitung vorgestellt und erläutert. Es wird betont, dass bei einer Unterrichtsplanung wissenschaftliche Vorstellungen und Schülervorstellungen systematisch miteinander in Beziehung gesetzt werden und damit eine permanente Verschränkung der Arbeitsbereiche stattfindet. In den folgenden Lernaufgaben wird sich zugunsten der Komplexitätsreduktion auf die Teilaufgaben: „Kritische Analyse der fachlichen Literatur“; „Kernkonzepte formulieren“ und „Fachlich benötigte Vorkenntnisse identifizieren“ fokussiert.

Innerhalb der ersten Teilaufgabe zur Dekonstruktion fachlicher Texte werden den Studierenden Internet-Texte von diversen Lernhelfer-Websites (abiweb.de; frustfrei-lernen.de; lernhelfer.de) für Schüler\*innen der Oberstufe vorgelegt.<sup>16</sup> Diese Aufgabestellung (s. Abbildung 22) nimmt vor allem die Identifikation von fachlichen Reduktionen und deren Folgen in den Blick. In diesem Sinne ist die Teilaufgabe der Facette „Wissen um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren“ des Modells des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* zuzuordnen

**Aufgabe**

Analysiert die euch vorliegenden Texte aus dem Internet hinsichtlich der fachlichen Qualität der vorgenommenen Reduktionen.

**Leitfragen:**

- Identifiziert die dem Text zu Grunde liegenden „Reduktionen“?
- Welche Folgen haben die „Reduktionen“ im Text für die weitere Auseinandersetzung mit dem Thema für die Lesende

Abbildung 22 Aufgabenstellung zur Dekonstruktion von fachlichen Open-Source-Texten

---

<sup>16</sup> Die URL-Angaben finden sich im Literaturverzeichnis.

## 12.4 Sitzung 4 – „Fachliche Klärung“ als Teil der Didaktische Rekonstruktion (Teil 2) – Schulbuchtexte dekonstruieren

In der zweiten Teilaufgabe zur Dekonstruktion fachlicher Texte sind die Studierenden aufgefordert, leitfragenorientiert Auszüge aus Oberstufen-Schulbüchern zu analysieren. Es wird hier von einer steigenden Schwierigkeit im Vergleich zu der Dekonstruktion der Open-Source-Texte ausgegangen. Die ausgewählten Schulbücher haben textlich eine höhere Qualität, die sich durch eine weitgehend fachliche Angemessenheit und einen sensibleren Umgang mit Fachsprache auszeichnet. Dennoch sind Schulbücher der Oberstufe fachlich reduziert bzw. rekonstruiert. Die Reduktionen und fachlichen Kernkonzepte zu identifizieren ist Ziel dieser Lernaufgabe für die Studierenden.

Die Arbeit mit Schulbüchern oder schulischen Materialien, um fachliche Inhalte multiperspektivisch zu erschließen und anzuwenden, wurde bereits in mathematikdidaktischen Publikationen beschrieben. Auch Bauer und Partheil (2009, S. 95–97) arbeiten mit Reduktionen in Schulbüchern und lassen Studierende z.B. durch Rechercheaufgaben die verschiedenen Zugänge zum Integralbegriff durch die Schulmathematik und universitäre Mathematik aufdecken. Durch diese Aufgabe sollen die Studierenden u.a. den Umgang mit alternativen Zugängen verschiedener Exaktheitsstufen üben.

Auch Prediger (2013, S. 159–160) fordert in praktisch bewährten Lehrveranstaltungen Studierende auf, mathematische Zugänge in Schulbüchern, Tafelbildern u.ä. aufzudecken. Prediger lehnt sich hier an die *Job-Analyse* von Ball und Bass (2003) an, welche u.a. die Beurteilung von Instruktionsmaterial für den Mathematikunterricht als ein Kerngeschäft von Lehrkräften verstehen. Schulbücher sollen in ihren Lehrveranstaltungen auf ihre fachmathematische Angemessenheit und didaktische Eignung hin geprüft werden. Dies wird auf Grundlage von Unterrichtsmomenten, d.h. einzelnen sehr typischen im Unterricht verwendeten Aufgaben oder Schulbuchauszügen, erzielt. Die Authentizität spielt bei Prediger (2013) eine entscheidende Rolle. Neben motivatorischen Gründen und der Augenscheinlichkeit des Berufsfeldbezugs können die authentischen Unterrichtsmomente „[...] Anknüpfungspunkte an die Schulerfahrungen der Studierenden konstruieren und somit eine doppelte Brücke schlagen [...]“ (Prediger 2013, S. 166).

Der Begriff *De-Konstruktion* findet auch in der Geschichtsdidaktik Anwendung. Geschichte ist ein Konstrukt und bedarf bei der Auseinandersetzung stets einem Erkennen dieser Geschichte als Narration (Körper et al. 2007). Die *De-Konstruktion* und *Re-Konstruktion* findet sich im Kompetenzmodell historischen Denkens als Kernkompetenzen der historischen Methodenkompetenz wieder. Die *De-Konstruktion* ist dabei ein analytischer Akt bei dem historische Narrationen und Quellen innerhalb ihrer Tiefenstrukturen, d.h. in ihrer Perspektiven-, Zeit- und Interessengebundenheit erfasst und reflektiert werden (Schreiber 2008). Auch innerhalb der Lernaufgabe zur Rekonstruktion in der hier beschriebenen Lehrveranstaltung werden die Studierenden aufgefordert die Strukturen des Fachtextes aufzudecken. In der logischen Schlussfolgerung dessen, dass alle Wissenschaften Konstruktionen menschlichen Geistes sind, sind auch naturwissenschaftliche Fachtexte von der Perspektive der jeweiligen Autor\*innen und der an der Wissensgenese beteiligten Wissenschaftler\*innen geprägt. Dieser auf den Grund zu gehen wird allerdings in dieser Aufgabe nicht von den Studierenden gefordert. Anders als in der Geschichtsdidaktik wird hier der Fokus auf die Beschreibung und Bewertung der fachlichen Aussagen hinsichtlich der verwendeten Reduktionen und Konzepte gelenkt.



Auch in der Biologiedidaktik wird eine Analyse der fachlichen Aussagen in Lehrbüchern vorgeschlagen (Gropengießer und Kattmann 2016a). Dabei sollen von allem in Hochschullehrbüchern historisch bedingte Fachtermini identifiziert und hinsichtlich ihrer Angemessenheit bewertet werden, um letztendlich zu prüfen, welche Vorstellungen sie vermitteln. Als Beispiel wird hier der Begriff „doppelter Blutkreislauf“ aufgegriffen, welcher der fachlich geklärten Vorstellungen von einem ungeteilten Blutkreislauf in Form einer kreuzungsfreien Acht entgegensteht (Gropengießer und Kattmann 2016a, S. 10).

Innerhalb dieser Lernaufgabe wird allerdings bewusst auf Schulbücher und nicht auf Hochschullehrbücher zurückgegriffen. Vom Schulwissen ausgehend wird universitäres Wissen zu Beurteilung der Darstellung des Schulwissens und damit auch zur Fachlichen Klärung angewendet.

Die Auswahl der Schulbücher beruhte darauf, dass es sich um Oberstufen Gesamtbände handeln musste. Da es nicht darum ging, zu entscheiden, ob es sich um ein gutes oder schlechtes Schulbuch handelt, spielten Qualitätskriterien bei der Auswahl keine sonderlich große Rolle. Es wurden Schulbücher mit einem größeren Textanteil gewählt, anhand dessen die Studierenden der Aufgabe und den Leitfragen nachgehen konnten. Die Schulbuchauszüge bieten das Potential, dass zur Beantwortung der Leitfragen jeweils mehrere Textstellen herangezogen werden können. Die Studierenden können sich somit einen multiperspektiven Zugang erarbeiten. Es wurden Auszüge (jeweils eine Doppelseite) aus einer älteren Ausgabe von „Biologie heute“ des Schrödel-Verlags für die Sekundarstufe II (Miram 2001, S. 16–17) und aus einer Ausgabe des Biologieschulbuchs „Natura – Biologie für Gymnasien“ vom Klett-Verlag (Beyer 2013, S. 54–55) gewählt. Sie werden jeweils innerhalb einer Gruppenarbeit von zwei bis drei Studierenden leitfragenorientiert bearbeitet.

Die Aufgabenstellung zur Dekonstruktion der Schulbuchtexte setzt sich aus einer generellen Aufgabenstellung zusammen, in der die Studierenden aufgefordert wurden den Text hinsichtlich der fachlichen Qualität zu analysieren (s. Abbildung 23). Sowohl in der Aufgabenstellung als auch in der mündlichen Erklärung zur Aufgabenstellung wird hervorgehoben, dass sich die Analyse auf die fachlichen Aussagen im Text beziehen soll. Es wird verdeutlicht, dass Einschätzungen bzw. Mutmaßungen über die kognitiven Voraussetzungen und Lesekompetenzen von Schüler\*innen zum Verständnis der Aussagen hier zweitrangig sind. Zu allen Leitfragen werden innerhalb der Erläuterung durch die Seminarleitung Good-Practice-Beispiele anhand eines weiteren Schulbuchtextes (Gemballa und Markl 2010, S. 52–53) gegeben.

Innerhalb der Leitfragen werden die Anknüpfungspunkte zum Modell des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* und auch die Teilaufgaben zur Fachlichen Klärung sichtbar. Die erste Leitfrage fordert die Studierenden zur Einschätzung des benötigten Vorwissens auf. Hierbei ist es nicht zwingend notwendig, Schülerkognitionen oder curriculare Überlegungen einzubeziehen. Die Frage ist rein vom fachlichen Gegenstand ausgehend zu beantworten. Dementsprechend muss kein fachdidaktisches Wissen mit einbezogen werden. Ebenso verhält es sich mit den weiteren Leitfragen. Auch zur Identifikation von Reduktionen wird (wie bereits in Kapitel 6.1.3 ausgeführt) nicht zwangsweise fachdidaktisches Wissen benötigt. Folgende Aussage aus Gemballa und Markl (2010, S. 52) kann hier als Beispiel angeführt werden: „Der hydrophobe Kernbereich der Biomembran stellt eine wirkungsvolle Schranke für Wasser und alle hydrophilen Moleküle dar.“ Insgesamt ist diese Aussage ambivalent zu betrachten: Einerseits wird durch den hydrophoben Bereich einem Austausch der wässrigen Phasen entgegengewirkt.

Andererseits gelangen Wassermoleküle mit verringerter Geschwindigkeit aufgrund ihres geringen Durchmessers durch die Biomembran hindurch. Die Aussage ist demnach niemals absolut aufzufassen. Betrachtet man die nächste Leitfrage zur Einschätzung der fachlichen Folgen dieser Reduktion, würden Lesende davon ausgehen, dass es unter keinen Umständen möglich ist, dass Wassermoleküle durch einfache Diffusion die Biomembran passieren können. Diese Vorstellung steht beispielsweise einem Lernen über Osmosevorgänge (die nicht nur auf der Funktionsweise von Aquaporinen beruhen) entgegen. Das angesprochene Konzept wäre in diesem Fall „Biomembranen sind selektiv permeabel“.

Zur Bearbeitung dieser Aufgabe stehen den Studierenden 45 Minuten zur Verfügung. Anschließend werden die Ergebnisse im Plenum ausgewertet, verglichen und diskutiert.

### **Aufgabe**

Analysiert die euch vorliegenden Schulbuchtexte hinsichtlich der fachlichen Qualität.

#### **Leitfragen:**

- Welches Vorwissen benötigen Lesende, um Begriffe/Textabschnitte zu verstehen?
- Welche „Reduktionen“ könnt ihr im Text identifizieren?
- Welche Folgen haben die „Reduktionen“ im Text für die weitere Auseinandersetzung mit dem Thema für die Lesenden? Wählt mindestens zwei „Reduktion“ im Text aus und erläutert die Folgen für die Lesenden und deren Verständnis.
- Welche Konzepte werden (explizit oder implizit) angesprochen? Inwiefern wird die Relevanz dieser Konzepte deutlich?

Abbildung 23 Aufgabenstellung zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten

## **12.5 Sitzung 5 – Eine konzeptorientierte Sachanalyse schreiben (Rekonstruktion – Teil 1)**

Die Lerngelegenheiten zur Rekonstruktion sehen zwei Lernaufgaben vor. Zum einen sind die Studierenden aufgefordert eine konzeptorientierte Sachanalyse und zum anderen einen konzeptorientierten Lerntext zu verfassen.

Im Vorbereitungsdienst des Landes Brandenburg wird innerhalb eines ausführlichen Unterrichtsentwurfs von angehenden Lehrkräften keine Sachanalyse verlangt. Dennoch wird sich vorbehalten bei Verdachtsfällen auf mangelhaftes Fachwissen, Sachanalysen von den jeweiligen Kandidat\*innen in Einzelfällen einzufordern (Landesamt für Schule und Lehrerbildung 2014).

Das Verfassen einer Sachanalyse ist eine schriftliche Auseinandersetzung mit dem zu unterrichtenden Inhalt, d.h. der *Sache*. Dabei werden die Lernenden zunächst nicht in die Überlegungen mit einbezogen, wie bereits Roth (1963) verdeutlichte:

*„Es ist völlig verkehrt, bei diesen ersten Bemühungen schon an das Kind zu denken. Es geht zunächst nur um die Sache. [...] Es geht nicht schon um das mögliche Verhältnis des Kindes zu dieser Wahrheit, sondern um das Verhältnis des Lehrers zu dieser Wahrheit. [...] Das Verhältnis des Lehrers zu seinem Lehrgegenstand muss immer seinem eigenen geistigen Niveau entsprechen, nicht dem des Kindes. Und zwar immer seiner höchstmöglichen geistigen Fassungskraft. Jedes halbe, schiefe oder seichte Wissen verfehlt gerade das, worauf es bei der*

*stofflichen Besinnung ankommt: die Erfassung des wahren Wesens, des sachlichen Gehalts, des existenziell Wichtigen.“*

(Roth 1963, S. 119)

Die Vorstellung, dass ein Unterrichtsgegenstand zunächst unabhängig von seiner möglichen didaktischen Verwendung fachwissenschaftlich erfasst werden muss, ist dabei auch durchaus umstritten (Brand 2010, S. 207). Auch innerhalb der Didaktischen Rekonstruktion (s. Kapitel 9) ist eine stetige Verschränkung von fachlichen und didaktischen Überlegungen vorgesehen. Vom Verfassen einer Sachanalyse wird daher in Arbeiten zur Didaktischen Rekonstruktion abgesehen. Innerhalb dieser Arbeit wird allerdings davon ausgegangen, dass die Studierenden (aufgrund des frühen Zeitpunkts im Studium und mangelnden Lerngelegenheiten) über wenig fachdidaktisches Wissen verfügen. Der Einbezug didaktischer Überlegungen würde eine Überforderung darstellen. Darüber hinaus wird angenommen, dass eine Auseinandersetzung mit dem fachlichen Gegenstand eine Voraussetzung für didaktische Entscheidungen ist. Das Verfassen der Sachanalyse wird als Rekonstruktion der geltenden Ansichten von Wissenschaftler\*innen begriffen. Die inhaltliche Breite und Tiefe der Sachanalyse geht dabei über den tatsächlich zu unterrichtenden Inhalt hinaus, da sie auch eine Basis für die Auswahl der Unterrichtsinhalte bieten soll. Demensprechend werden die Studierenden durch die Aufgabenstellung aufgefordert, eine Sachanalyse auf einem für sie möglichst hohem Niveau in Textform zu verfassen. Bereits einige Sitzungen zuvor hatten die Teilnehmenden Gelegenheit, sich mit der grundlegenden Thematik zur Struktur und Funktion der Biomembran innerhalb der kooperativen Erstellung einer Concept Map auseinanderzusetzen. Sachanalysen können ebenfalls als Concept Map, Begriffslandkarte oder Mind Map (Rinschede 2009) erstellt werden. In dieser Lerngelegenheit wird die Textform bevorzugt, um den Studierenden einen weiteren methodischen Zugang zur Erarbeitung des fachlichen Gegenstandes zu bieten. Auch das präzise Ausformulieren von naturwissenschaftlichen Sachverhalten bedarf einiger Übung.

Die hier zu verfassende Sachanalyse soll darüber hinaus konzeptorientiert sein. Wichtige Konzepte zum übergeordneten Thema Biomembran wurden bereits in den Sitzungen zuvor durch die Erstellung der Concept Map und die Dekonstruktion von Schulbuchtexten erarbeitet. Dieser biologische Fachinhalt wird nun durch ausgewählte Prozesse des Stofftransports, die an der Biomembran stattfinden, erweitert. Endo- und Exocytose beschreiben einen für die Zelle überaus bedeutenden membranverlagernden Massentransport (Kapitel 11.1). Viele alltags- und unterrichtsrelevante Sachverhalte können nur durch das Verständnis über diese Transportprozesse nachvollzogen werden (z.B. bestimmte Wirkungen von Medikamenten oder Prozesse an Synapsen). Die Studierenden werden mit Hilfe von Leitfragen aufgefordert, neben zentralen Konzepten und Zusammenhängen auch Verbindungen zu anderen Themen aufzuzeigen (s. Abbildung 24).

**Aufgabe:**

**Erstellt eine Sachanalyse zum Thema „Stofftransport in der Zelle: Endo- und Exocytose“ (1-1,5 Seiten)**

**Orientiert euch dabei an folgenden Leitfragen:**

- Welche elementaren Probleme, Begriffe und Zusammenhänge enthält das Thema?
- Welche Bedeutung hat das Thema in der Fachwissenschaft?
- In welchen größeren Sinnzusammenhang ist das Thema einzuordnen? Welche Verbindungen zeigen sich zu anderen Themen?
- Welche Konzepte sind erkennbar/ herauszuarbeiten?
- Welche Konzepte/Inhalte müssen vorher verstanden worden sein?

- **Kommentiert in der vorgesehenen Spalte auf welche Leitfrage ihr euch an der jeweiligen Stelle bezieht.**
- **Kommentiert ebenfalls, wenn fachliche Unsicherheiten oder Unsicherheiten beim Formulieren auftreten.**

**Gebt die von euch verwendeten Quellen in der vorgesehenen Spalte an.**

Abbildung 24 Aufgabe zum Verfassen einer konzeptorientierten Sachanalyse

Innerhalb einer Vorlage mit insgesamt drei Spalten können die Seminarteilnehmenden die Sachanalyse in der ersten Spalte als Text zu verfassen und in der zweiten Spalte den verfassten Text hinsichtlich der Leitfragen zu kommentieren.

Sachanalyse zum Thema „Stofftransport in der Zelle – Endo- und Exocytose“	Kommentar	Quelle
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorwissen</li> <li>- Konzepte</li> <li>- Verbindungen zu anderen Themen</li> <li>- Bedeutung für die Fachwissenschaft</li> </ul>	

Abbildung 25 Beispielhafter Ausschnitt der Vorlage zur Erstellung der konzeptorientierten Sachanalyse

Die Sachanalyse wird in Einzelarbeit zu Hause verfasst. Im Anschluss an Sitzung 6 werden die erstellten Arbeitsergebnisse durch die Seminarleitung eingesammelt und Einschätzungen werden schriftlich zurückgemeldet.

## 12.6 Sitzung 6 – Einen konzeptorientierten Lerntext schreiben (Rekonstruktion – Teil 2)

Die Rekonstruktion von Sachanalysen hin zu einem fachlichen Lerntext stellt eine Lerngelegenheit zur Anwendung des Fachwissens vom universitär vermittelten Wissen ausgehend dar. Dieses universitär vermittelte Wissen, welches sich durch den Besuch der Vorlesung, den Vorlesungsunterlagen und dem Nutzen der Literatur aus grundständigen Lehrbüchern speist, wird das zu vermittelnde Schulwissen konzeptorientiert rekonstruiert.

Innerhalb der Inputphase wird wiederholend verdeutlicht, dass die fachwissenschaftlichen Sachstrukturen nicht den Sachstrukturen des Unterrichts entsprechen. Duit (2010, S. 3) weist darauf hin, dass die unterrichtliche Sachstruktur einerseits „einfacher“ ist, als die fachwissenschaftliche und andererseits aber auch „reicher“, da sie durch die Lebenswelt- und Alltagsbezüge erweitert werden muss.

Die Rekonstruktion von Lerntexten fordert von den Studierenden, eine Reduktion auf Grundlage ihrer Sachanalyse vorzunehmen und gleichzeitig den Lesenden die zugrunde liegenden Konzepte und Zusammenhänge zu verdeutlichen. Die Studierenden sollen sich darüber hinaus damit auseinandersetzen, welches Vorwissen die Lesenden benötigen und welche Anknüpfungspunkte für den Aufbau von weiterführendem Wissen der Text bietet (s. Abbildung 26). Wird beispielsweise davon berichtet, wie sich Vesikel abschnüren, müssen die Lesenden ein grundlegendes Wissen über die Fluidität der Membran aufweisen. Darauf aufbauend kann Wissen über folgende Prozesse (wie beispielsweise Membranfluss) aufgebaut werden. Der Lerntext soll für Lernende der elften Jahrgangsstufe verfasst werden. Den Studierenden wird außerdem eine fiktive Sequenzplanung zur Orientierung über mögliches zellbiologisches Vorwissen der Lernenden zur Verfügung gestellt (s. Anhang I.k).

### **Aufgabe:**

**Formuliert einen konzeptorientierten, fachlichen Lerntext/Informationstext zum Thema „Stofftransport in der Zelle – Endo- und Exocytose“**

Zielgruppe: Klassenstufe 11      Umfang: ½ - 1 Seite

Orientiert euch hierbei an der fiktiven Sequenzplanung

**Kommentiert in der vorgesehenen Spalte:**

- Welches **Vorwissen** setzt ihr für die bestimmten Begriffe/Textabschnitte voraus?
- Welcher **Bezug** zu **Konzepten** soll durch bestimmte Abschnitte deutlich werden?
- Wo werden von euch bewusst bestimmte Fachwissensinhalte zu Gunsten der **Komplexitätsreduktion** „reduziert“?
- Wo gibt es **Ansatzmöglichkeiten für den weiteren Aufbau** von Fachwissen?

Abbildung 26      Auszug aus Aufgabe zur Erstellung eines Lerntextes (gesamtes Aufgabenblatt im Anhang)

Auch bei dieser Aufgabenstellung wird den Studierenden eine Vorlage (analog zur Erstellung der Sachanalyse) zur Verfügung gestellt (s. Abbildung 27). Die Studierenden erstellen den Lerntext in Einzelarbeit innerhalb der Sitzung. Im Anschluss daran geben sich die Studierenden im Peer-Feedback-Verfahren gegenseitig Rückmeldungen zu ihren verfassten Lerntexten.

<b>Fachlicher Lerntext zum Thema „Stofftransport in der Zelle – Endo- und Exocytose“</b>	<b>Kommentar</b> - Vorwissen - Bezug zu Konzepten - Bewusste „Reduktion“ - Ansatzmöglichkeiten für aufbauendes Fachwissen	<b>Feedback von (Code)</b> - - - - -

Abbildung 27 Beispielhafter Ausschnitt der Vorlage zur Erstellung des konzeptorientierten Lerntextes

## 13 Entwicklung von Design-Prinzipien

Die hier vorgestellte Lehrveranstaltung lehnt sich an Design-Prinzipien an. Diese wurden in Folge des Pilotzyklus, der nicht in die Datenerhebung einging, entwickelt und im Verlauf der folgenden Zyklen spezifiziert.

Die Bedeutung der Design-Prinzipien wird im Zuge der Debatte um die Generalisierbarkeit von Erkenntnissen die aus Design Research-Projekten gewonnen wurden, gestärkt (Euler 2014). Generalisierung kann sich hier, wie auch in vielen anderen Projekten der qualitativen Sozialforschung (s. Kapitel 14.1), nur auf die „komparative Analyse von Einzelfällen und einer Begründung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden“ (Euler 2014, S. 105; vgl. Kelle und Kluge 2010) beziehen und nicht auf den statistischen Zusammenhang zwischen einer Grundgesamtheit und einer Stichprobe.

Design-Prinzipien sind (wie bereits im Kapitel 8 beschreiben) Gestaltungsvorschläge nach denen sich das Lehr-Lernarrangement in seinen Zielen, Inhalten und/oder Methoden ausrichtet (Euler 2014). In diesem Sinne können sie auch als Handlungsempfehlungen für abgegrenzte Handlungsfelder gelten (McKenney und Reeves 2012). Sie können als Leitlinien fungieren, jedoch keine kontinuierliche Sicherheit über den Erfolg versprechen (Plomp 2013). Das Lehren und Lernen in Bildungsinstitutionen spiegelt ein komplexes System wider. Handlungsempfehlungen können dementsprechend nur annäherungsweise, z.B. in Form von heuristischen Prinzipien gegeben werden. Design-Prinzipien beziehen sich auf Lehr-Lern-Ziele und stützen sich auf erfolgreiche Praxis oder eine angestrebte Praxis (Euler 2014).

### 13.1 Operationalisierung von Design-Prinzipien

Design-Prinzipien können in verschiedenen Abstraktionsgraden formuliert werden. Für die Formulierung von Design-Prinzipien schlägt van den Akker (1999) Folgendes vor:

*"If you want to design intervention X [for the purpose/function Y in context Z], then you are best advised to give that intervention the characteristics A, B, and C [substantive emphasis], and to do that via procedures K, L, and M [procedural emphasis], because of arguments P, Q, and R."*

(van den Akker 1999, S. 9)

Dieser Formulierungsvorschlag bezieht sich demnach sowohl auf den Inhalt als auch auf den Gestaltungsprozess der Intervention. Diese Aussage nimmt Euler (2014, S. 108) als Anlass, um Design-Prinzipien weiter zu operationalisieren. Er schlägt bei der Entwicklung von Design-Prinzipien eine Beschreibung der Leitprinzipien („substantive emphasis“) und Umsetzungsprinzipien („procedural emphasis“) vor (s. Tabelle 15, Spalte 1). Die Leitprinzipien umfassen für ihn die allgemeindidaktischen Leitideen, wie z.B. Problemorientierung. Die Umsetzungsprinzipien umfassen hingegen konkrete Ausprägungen der Lehr-Lernumgebung als Prozess-Struktur. In Anlehnung daran fügte Hiller (2017) zwei weitere Operationalisierungsstufen hinzu und verknüpfte die Leitprinzipien und Umsetzungsprinzipien in stärkerem Maß, als dass es bei Euler (2014) der Fall ist. In diesem Sinne nutzte Hiller (2017) die Stufen zur einer schrittweisen Konkretisierung (s. Tabelle 15, Spalte 2).

Auf die Arbeiten von Euler (2014) und Hiller (2017) aufbauend, wurden die Operationalisierungsstufen für die Design-Prinzipien entsprechend der Tabelle 15 (Spalte 3) beschrieben und im Laufe der Iteration weiterentwickelt. Auf die Stufe der

*Handlungsleitlinie für das Unterrichtsdesign*, wie sie Hiller (2017) in seiner Studie verwendete, wird hier verzichtet. Es stellte sich im Laufe der hiesigen Studie heraus, dass eine sinnvolle und konsequente Trennung der Stufen *Handlungsleitlinie für das Unterrichtsdesign* und *Umsetzungsprinzip* problematisch ist. In mehreren Fällen konnten Beschreibungen sowohl der einen als auch der anderen Stufe zugeordnet werden. Insofern hat sich eine dreistufige Operationalisierung als zielführender erwiesen. Diese Operationalisierungsstufen dienen einerseits der umsetzungsorientierten Beschreibung und andererseits der Weiterentwicklung der Design-Prinzipien im Zuge der Iteration.

Tabelle 15 *Verschiedene Operationalisierungsstufen für die Konkretisierung von Design-Prinzipien*

Euler (2014, S. 108)	Hiller (2017, S. 92)	Operationalisierungsstufen in dieser Studie
Leitprinzip ( <i>allgemeindidaktischen Leitideen</i> )	Design-Prinzip ( <i>allgemeindidaktische Leitprinzipien</i> )	Design-Prinzip ( <i>didaktisches Leitprinzip</i> )
	Handlungsleitlinie für das Unterrichtsdesign ( <i>expliziert Leitprinzip</i> )	
Umsetzungsprinzip ( <i>konkrete Ausprägungen der Lehr-Lernumgebung als Prozess-Struktur</i> )	Umsetzungsprinzip ( <i>als Aussagesätze mit Aufforderungscharakter formuliert, bahnen sie die Konstruktion der Lernumgebung an</i> )	Umsetzungsprinzipien ( <i>gegenstandsbezogen, als Aussagesätze formuliert, die sich bereits unmittelbar auf die Konstruktion der Lernumgebung beziehen</i> )
	Adressatengemäße Strukturierung des Lernprozesses ( <i>konkreter Bezug zur Zielgruppe und zur Lernumgebung</i> )	Adressatengemäße Strukturierung des Lernprozesses ( <i>zielgruppenspezifische Formulierung der Umsetzungsprinzipien, Konstruktion der konkreten Lernumgebung und Lernaufgaben</i> )

Die Design-Prinzipien der hier zugrunde liegenden Studie sind die Folgenden: (1) *Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext* explizieren, (2) Vorwissen aktivieren und (3) Dekonstruktion und Rekonstruktion. Im Folgenden werden die Design-Prinzipien beschrieben. Die Operationalisierung der Design-Prinzipien, sowie sie zum Zeitpunkt des ersten Zyklus vorlagen, werden in den Tabellen 16, 17 und 18 aufgezeigt. Die Weiterentwicklung der Design-Prinzipien durch die Iterationen wird zu einem späteren Zeitpunkt im Kapitel 17 beschrieben.

### *Design-Prinzip: Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext explizieren*

Der von Studierenden wahrgenommene fehlende Berufsbezug in fachwissenschaftlichen Lehrveranstaltungen wurde bereits in Kapitel 1 ausführlich beschrieben. Der durch die Seminarleitung gegebene Input verdeutlicht stets die spätere Berufsrelevanz der Lerngelegenheit, indem Facetten und Beschreibungen der Facetten von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext* zur Erläuterung herangezogen werden.

Lerngelegenheiten oder Leitfragen innerhalb dieser fordern die Studierenden explizit auf das *erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext* anzuwenden. Einzelne Facetten oder Beschreibungen der Facetten lassen sich innerhalb der Aufgabenstellungen und vor allem in den Leitfragen wiederfinden. Für die Wahrnehmung von Praxisrelevanz spielt, wie in Kapitel 7 beschrieben, die Authentizität der eingesetzten Materialien eine tragende Rolle.



Die Materialien und Kontexte wurden daher stets im Hinblick auf Authentizität und einen möglichst hohen Berufsfeldbezug ausgewählt.

Tabelle 16 Operationalisierung des Designprinzips "Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext explizieren" zu Beginn des Zyklus 1 (Darstellung in Anlehnung an Hiller 2017)

Designprinzip	Umsetzungsprinzipien	Adressatengemäße Strukturierung des Lernprozesses
<b>Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext explizieren</b>	Leitfragen werden auf Grundlage des Konstrukts des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext formuliert	Bei der kooperativen Erstellung der Concept Map werden Konzepte identifiziert und verknüpft
		Bei der kooperativen Erstellung der Concept Map wird die Verknüpfung zwischen universitärem Wissen und Schulwissen explizit gefordert
		Bei der Dekonstruktion schulischer Materialien werden Konzepte, fachliche Fehler, kritische Formulierung, identifiziert und benannt werden
		Bei der Erstellung der Sachanalyse werden zentrale Begriffe und Zusammenhänge größere Sinnzusammenhänge sowie Konzepte identifiziert, eigenständig formuliert und Vorwissen benannt. Zudem wird die Bedeutung für die Fachwissenschaft verdeutlicht
		Bei der Erstellung des fachlichen Lerntextes werden Konzepte formuliert, Reduktionen bewusst vorgenommen und als solche benannt, Vorwissen identifiziert und Anknüpfungspunkte für das weitere fachliche Lernen benannt
	Themenauswahl erfolgt auf Grundlage von hohem Schul- und Studiumsbezug	Biomembran als Schul- und akademisch relevantes Thema im RLP und anhand der Vorlesungs-Unterlagen erarbeiten lassen
		Biomembran als Thema im Studium disziplinübergreifend erarbeiten lassen
	Für die Lernaufgaben werden authentische schul- und studiumsbezogene Materialien herangezogen	Studiumsbezogene Lehrbücher und Unterlagen werden zur Verfügung gestellt
		Schülervorstellungen zur Zelle werden beurteilt
		Schulbezogene Open-Source Materialien werden zur Identifikation von fachlichen Fehlern herangezogen
Zur Identifikation von Konzepten, kritischen Formulierung und fachlichen Reduktionen und deren möglichen Folgen werden Schulbuchtexte herangezogen		

### Design-Prinzip: Vorwissen aktivieren

In moderat konstruktivistisch geprägten Lernumgebungen wird der Bezugnahme auf das Vorwissen der Lernenden eine maßgebliche Bedeutung beigemessen (s. Kapitel 7). Die Studierenden machen sich bei der Wahrnehmung der Lerngelegenheiten ihre eigene Fachperspektive mit ihren Grenzen aktiv bewusst.

Die Studierenden werden angehalten die Lernaufgaben zunächst ausschließlich auf Grundlage des eigenen Vorwissens, d.h. ohne fachliche Hilfsmittel zu bearbeiten. Es wird davon ausgegangen, dass sowohl Wissensinhalte aus dem universitären Wissen als auch aus dem Schulwissen zur Bearbeitung der Lernaufgaben herangezogen werden. Erst wenn die eigenen Perspektiven für bestimmte Sachverhalte nicht mehr erklärungs mächtig sind, sollen fachliche Hilfen zu Rate gezogen werden.

Auch die Sequenzierung der Lerngelegenheiten zielen darauf ab, dass zunächst möglichst umfangreiche Gelegenheiten geboten werden, um einerseits das Schulwissen, andererseits

das universitäre Wissen zu reaktivieren. Erst daraufhin wird die konkrete Anwendung dieser Wissensbestände für berufsbezogene Kontexte gefordert.

Tabelle 17 Operationalisierung des Designprinzips "Vorwissen aktivieren " zu Beginn des Zyklus 1 (Darstellung in Anlehnung an Hiller 2017)

Designprinzip	Umsetzungsprinzipien	Adressatengemäße Strukturierung des Lernprozesses
Vorwissen aktivieren	Vorwissen aus den Lerngelegenheiten Schule und Vorlesungen strukturieren	Fachliche Hilfen (universitäre Lehrbücher, Vorlesungsunterlagen) zur Reaktivierung von universitärem Wissen während der Lernaufgaben bereitstellen
		Erstellung einer koop. Concept Map zur Reaktivierung und persönlichen Differenzierung von Schulwissen und universitären Wissen
	Vorwissen bei Sequenzierung des Seminars berücksichtigen, d.h. Vorwissen erst aktivieren/auffrischen und dann anwenden	Vorwissenstest zum Verdeutlichen der eigenen Fachperspektive und Wissenslücken
		Koop. Concept Map zum Verdeutlichen der eigenen Fachperspektive und Wissenslücken, zum Reaktivieren von Fachwissen
		Dekonstruktion zum Reaktivieren und Nutzen von Fachwissen
		Rekonstruktion einer Sachanalyse zum Reaktivieren und Nutzen von Fachwissen
		Rekonstruktion eines fachlichen Lerntextes zum Nutzen von Fachwissen
	Vorwissen und eigene Fachperspektiven bei Strukturierung der Lernaufgaben berücksichtigen	Vorerst ausschließlich eigenes Wissen anwenden
		Ausschließlich zur Korrektur fachliche Hilfen nutzen
	Reflexion der Herkunft von Wissen ermöglichen	Verknüpfung von Schulwissen und universitärem Wissen an Beispielen explizit machen
		Herkunft von Wissen retrospektiv benennen

### Dekonstruktion und Rekonstruktion

Die kritische Analyse von fachlicher Literatur stellt einen zentralen Aspekt der fachlichen Klärung innerhalb der didaktischen Rekonstruktion dar. Ebenfalls müssen fachlich benötigt Vorkenntnisse identifiziert, Kernkonzepte erkannt und formuliert werden können (Gropengießer 2016). Abgewandelt wird die fachliche Klärung in dem Sinne, dass bereits „didaktisch rekonstruierte“ Materialien kritisch analysiert werden. Innerhalb der Rekonstruktion wird gefordert, dass Kernkonzepte formuliert werden, was ebenfalls einen zentralen Aspekt der fachlichen Klärung darstellt.

Die Lerngelegenheiten bieten den Studierenden die Möglichkeit, für den Schulkontext relevante und authentische textliche Materialien kriteriengeleitet zu dekonstruieren (Open-Source-Texte und Schulbuch-Texte) und im Anschluss einen Versuch der kriteriengeleiteten Rekonstruktion (Sachanalyse und fachlicher Lerntext) vorzunehmen. Es wird angenommen, dass es sich bei der Sequenzierung in dieser Reihenfolge um eine steigende Schwierigkeit handelt.

Tabelle 18 Operationalisierung des Designprinzips "Dekonstruktion und Rekonstruktion" zu Beginn des Zyklus 1 (Darstellung in Anlehnung an Hiller 2017)

Designprinzip	Umsetzungsprinzipien	Adressatengemäße Strukturierung des Lernprozesses
<b>Dekonstruktion und Rekonstruktion</b>	Dekonstruktion schulbezogener textlicher Materialien erfolgt kriteriengeleitet	Analyse von Open-Source-Materialien auf fachliche Angemessenheit
		Schulbuch: korrekte Verwendung von Metaphern und Analogien beurteilen
		Schulbuch: hinreichende Erläuterung von Fachbegriffen beurteilen
		Schulbuch: Identifikation von Konzepten (explizit/implizit)
		Schulbuch: Identifikation von Reduktionen
		Schulbuch: Identifikation von Folgen von Reduktionen
	Rekonstruktion schulbezogener textlicher Materialien erfolgt kriteriengeleitet	Sachanalyse und Lerntext: Beschreibung elementarer Zusammenhänge
		Sachanalyse und Lerntext: Identifikation von Konzepten und Basiskonzepten (explizit/implizit)
		Sachanalyse und Lerntext: benötigtes Vorwissen identifizieren
		Sachanalyse und Lerntext: Zusammenhänge mit anderen Themen aufzeigen
		Sachanalyse: Größeren Sinnzusammenhang beschreiben
		Sachanalyse: Bedeutung des Themas für die Fachwissenschaft
		Lerntext: Beispiele für Konzepte identifizieren
		Lerntext: Beschreibung von bewusst vorgenommenen Reduktionen
		Lerntext: Ansatzmöglichkeiten für aufbauendes Fachwissen identifizieren
	Die Sequenzierung der Lernaufgaben zur Dekonstruktion und Rekonstruktion erfolgt nach steigender Schwierigkeit	Zunächst wird an vorgegeben authentischen Beispielen (Open Source-Materialien, Schulbuchtexte) eine dekonstruierende Analyse vorgenommen
		Darauffolgend wird auf Grundlage des reaktivierten und erarbeiteten eigenen konzeptuellen Wissens eine Rekonstruktion schulischer Materialien vorgenommen

## 14 Design-Experimente

### 14.1 Grundlage: Qualitative Sozialforschung und Qualitative Inhaltsanalyse

Die Fragestellungen und das Studiendesign legen nahe, dass die Studie explorativ angelegt ist. Durch die Betrachtung und den Vergleich von Einzelfällen sollen Schlüsse hinsichtlich der Optimierung des Designs und des Modells des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* gezogen werden. In diesem Sinne bewegt sich die Studie im Paradigma der qualitativen Sozialforschung, welches „primär auf eine verstehend-interpretative Rekonstruktion sozialer Phänomene in ihrem jeweiligen Kontext ab[zielt]“ (Döring und Bortz 2016, S. 63).

Dabei besteht laut Rost (2007, S 117 ff.) ein gewisses Validitätsproblem. Bei Fallstudien muss es ungewiss bleiben, ob die gezogenen Schlussfolgerungen über den Einzelfall (bzw. wenn mehrfach beobachtet über die Einzelfälle) hinaus zutreffen oder nicht.

Um auch in qualitativen Studien dem wissenschaftlichen Anspruch gerecht zu werden, formulieren Döring und Bortz (2016) für die qualitative Sozialforschung fünf Prinzipien, die (wie in Tabelle 19 aufgeführt) auch für diese Arbeit zutreffen.

Tabelle 19 Wissenschaftliche Grundprinzipien des qualitativen Paradigmas nach Döring und Bortz (2016) und ihre Bedeutung für diese Studie

Wissenschaftstheoretische Grundprinzipien des qualitativen Paradigmas (Döring und Bortz 2016, S. 64–71)	Bemerkung zu den Grundprinzipien im Bezug zur hier vorgestellten Studie
Ganzheitliche und rekonstruktive Untersuchung lebensweltlicher Phänomene	Die Untersuchungsgegenstände und –ergebnisse werden soweit wie möglich unverzerrt wiedergegeben. Dabei ist unverkennbar, dass es sich um zeit-, orts- und personengebundene Erkenntnisse handelt, die deswegen nur beschränkt verallgemeinerbar sind. Bezüglich der Lebenswelt weicht die Studie von einer reinen Feldforschung zu Gunsten einer besseren Erkenntnisgewinnung ab. Allerdings nimmt das Untersuchungssetting, als für die Studierenden in großen Teilen authentische Seminarsituation, auch nicht den Status einer Laborstudie ein.
Reflektierte theoretische Offenheit zwecks Bildung neuer Theorien	Die Studie ist durch eine „relative Offenheit“ (Döring und Bortz 2016, S. 66) geprägt. Bei der Erstellung des Studiendesign wird sich zwar auf Theorien bezogen, um ein Verständnis über den Gegenstand zu entwickeln. Die Studie ist allerdings nicht darauf ausgelegt Theorien zu überprüfen, sondern neue Perspektiven in die (lokale) Theoriebildung und Theorieweiterentwicklung einzubringen. Die Offenheit wird weiterhin durch die Methode der qualitativen Inhaltsanalyse und der z.T. deduktiven Kategorienbildung eingeschränkt.
Zirkularität und Flexibilität des Forschungsprozesses zwecks Annäherung an den Gegenstand	Der hier gewählte Forschungsansatz der fachdidaktischen Entwicklungsforschung sieht eine Zirkularität und Flexibilität per se vor. Durch die Iteration wird sich dem Forschungs- und Entwicklungsgegenstand schrittweise in verbesserter Form angenähert.
Forschung als Kommunikation und Kooperation zwischen Forschenden und Beforschten	Zwischen Forschenden und Beforschten wird innerhalb von Interviews und Design-Experimenten direkt kommuniziert. Diese nicht standardisierte Kommunikation wird als Teil des Forschungsprozesses transparent gemacht und.
Selbstreflexion der Subjektivität und Perspektivität der Forschenden	Der Erkenntnisgewinn in dieser Studie ist nicht von der Person des Forschenden abzulösen. Diese subjektive Perspektive wird jedoch reflektiert und dokumentiert, indem Analyseschritte offengelegt werden. Als Korrektiv wird hier der Austausch mit Mitforschenden über Vorgehensweisen der Datenerhebung, -auswertung und Zwischenergebnisse (kommunikative Validierung und Interraterreliabilität) herangezogen.

Die Vorgehensweise folgt bei der Auswertung einem Schema, welches hier sehr kurz und in den folgenden Kapiteln präziser beschrieben wird: Handelte es sich bei dem Datenmaterial um Audioaufnahmen, wurden diese zunächst transkribiert. Die Transkripte wurden schließlich qualitativ inhaltsanalytisch ausgewertet. Hierbei wurden alle 29 Fälle der Stichprobe berücksichtigt. Für die Einzelfallanalyse wurden die Auswertungen für insgesamt sechs Fälle expliziert. Hierbei wurde auf individuelle Einstellungen, die individuelle Entwicklung fachlicher Konzepte, Schlüsselstellen und Hindernisse im fachlichen Lernprozess und die Anwendung von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext* fokussiert. Hinsichtlich der Entwicklung fachlicher Konzepte wurde für den jeweiligen Fall ein Lernpfad zur Visualisierung des Lernwegs erstellt. Für die individuelle Anwendung von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext* wurden fallbezogene Zusammenfassungen erstellt.

Dieses Verfahren kann als typenbildend bezeichnet werden. Laut Kelle und Kluge (2010, S. 10) helfen „[t]ypenbildende Verfahren bei der Beschreibung sozialer Realität durch Strukturierung und Informationsreduktion“. Dabei kommen ihnen im Allgemeinen „sowohl deskriptive als auch hypothesengenerierende Funktionen“ zu. Letztendlich können Aussagen zu typischen Hürden und Schlüsselstellen in Lernprozessen über Einzelfälle hinweg getroffen werden. Diese werden nach heuristischen Gesichtspunkten ausgewählt. Der Vergleich und die Kontrastierung von Einzelfällen gilt als notwendige Voraussetzung für eine valide und methodisch kontrollierte Beschreibung (Kelle und Kluge 2010).

Zur Auswertung der Design-Experimente wurde die Qualitative Inhaltsanalyse (Mayring 2015) als Methode herangezogen. Die Qualitative Inhaltsanalyse stellt eine Familie von Verfahren zur systematischen und theoriegeleiteten Textanalyse dar. Durch die Einhaltung bestimmter Regeln werden Texte nachvollziehbar auf eine Fragestellung hin interpretiert und ausgewertet. Diese Regelgeleitetheit unterscheidet die Qualitative Inhaltsanalyse maßgeblich von anderen qualitativen Forschungs-/Auswertungsmethoden, beispielsweise der Grounded Theory (vgl. Strauss 1991) oder der Dokumentarischen Methode (vgl. Bohnsack 2009).

Zu Gunsten einer strukturierten Beschreibung, wird das Datenmaterial nach bestimmten theoretisch sinnvollen Gesichtspunkten geordnet. Die Ordnungssysteme können allerdings nicht nur Instrument für eine weitere Analyse und Interpretation, sondern auch Ergebnis der Analyse sein. Für diese beiden Ziele werden die Herangehensweisen der deduktiven und induktiven Kategorienbildung unterschieden. Bei der deduktiven Kategorienbildung werden Kategorien vorab aus dem bisherigen Forschungsstand oder aus Voruntersuchungen formuliert, die dann beim Schritt der Codierung angewendet werden. Kategorienbildung und Codierung sind somit zeitlich voneinander getrennt. Bei der induktiven Kategorienbildung werden die Kategorien direkt anhand des Materials generiert. Die Kategorienbildung und Codierung werden demnach zeitgleich durchgeführt. Die Kategorien müssen stets theoretisch begründbar und empirisch sinnvoll sein (Hamann und Jördens 2014).

Um die Auswertung transparent zu machen, damit eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist (s. Kapitel 14.3), wird für jede Auswertung der einzelnen Design-Experimente ein Codierleitfaden<sup>17</sup> verfasst. Diese Codierleitfäden bestehen in Anlehnung an

---

<sup>17</sup> Alle in dieser Studie generierten und verwendeten Codierleitfäden finden sich im Anhang II dieser Arbeit.

Mayring (2015) aus vier Komponenten: (1) Der Bezeichnung der Kategorie, (2) der Definition der Kategorie, (3) den Codierregeln und (4) den jeweiligen Ankerbeispielen für die Zuordnung zu dieser Kategorie.

In Anlehnung an Mayring (2015) wurden bei allen Auswertungen von Design-Experimenten zunächst deduktiv Kategorien abgeleitet, die durch induktiv gebildete Kategorien ergänzt wurden (Kuckartz 2012). In der Analyse der Transkripte und Dokumente interessiert einerseits die Anwendung und Verknüpfung von Schulwissen und universitären Wissen und andererseits die Anwendung von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext*. In den deduktiven Kategorien finden sich deshalb einerseits die durch die curriculare Analyse gewonnen Konzepte aus Schulwissen und universitären Wissen wieder und andererseits die Leitfragen der Aufgabenstellung und die darin enthaltenen Facettenbeschreibungen des *erweiterten Fachwissens*. Durch die darauffolgende induktive Kategorienbildung wurden die Kategorien präzisiert, durch (Sub-)Subkategorien ergänzt und dem Datenmaterial angepasst.

## 14.2 Abfolge der Design-Experimente

Dieser Arbeit liegt ein komplexer Datenkorpus, bestehend aus Fragebögen, Audio- und Videoaufzeichnungen von Design-Experimenten, Audioaufnahmen von Kurzinterviews, von den Studierenden erstellte Dokumente und Audioaufnahmen von Laut-Denken-Studien zugrunde. Hervorzuheben ist, dass es auch Elemente der Lernveranstaltung gab, die nicht der Datenaufnahme unterlagen. So wurden zum Beispiel die Inputphasen oder der Ablauf und das Ergebnis kleinerer Übungen (z.B. die Dekonstruktion von Open-Source-Materialien oder die Auseinandersetzungen mit Schülervorstellungen zur Zelle) nicht aufgezeichnet oder protokolliert.

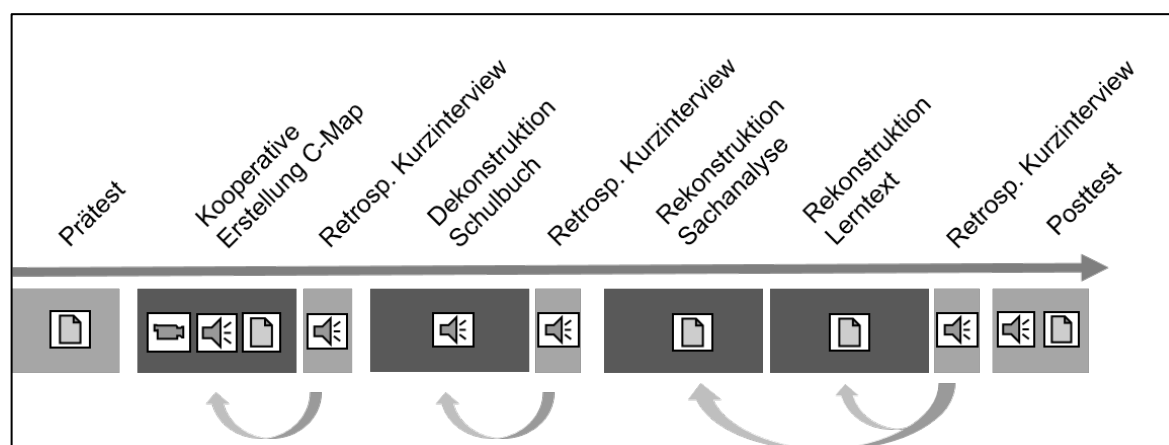


Abbildung 28 Abfolge Design-Experimente mit den jeweiligen Erhebungsmodi (Symbole)

Im Folgenden wird das methodische Vorgehen für die einzelnen Design-Experimente bezüglich der Erhebung und der Auswertung beschrieben.

### 14.2.1 Prätest

Zu Beginn der Lehrveranstaltung wurde zunächst eine organisatorische Einführung gegeben. Als erstes Design-Experiment wurde ein Prätest im Paper-Pencil-Format

durchgeführt. Die Bearbeitungsdauer betrug 60 Minuten. Der Prätest enthält Fragen zu nicht kognitiven Aspekten, z.B. zu Einstellungen gegenüber dem fachwissenschaftlichen Anteil im Biologie-Lehramtsstudium. Dafür werden zum Teil Items aus Skalen aber auch eigenkonstruierte Items verwendet. Eine Übersicht über die erfragten nichtkognitiven Aspekte (mit Beispielitems) findet sich in Tabelle 20.

Tabelle 20 Übersicht über die Items zur Erhebung nichtkognitiver Aspekte im Prätest

Itemcluster	Itembeschreibung	Beispielitems
Einstellungen zum fachwissenschaftlichen Anteil im Biologie-LA-Studium und zum Fachwissen	Eigenkonstruktion; 11 Items; z.T. offen z.T. geschlossen (5-stufige Likert-Skala)	EFSt 1 - Bitte vervollständigen Sie den Satz: Dass ich mit Fachstudierenden gemeinsam studiere, bedeutet für mich... _____
Einschätzungen zum eigenen Fachwissen	Eigenkonstruktion; 6 Items; z.T. offen z.T. geschlossen (5-stufige Likert-Skala)	F2 - Wie hoch schätzen Sie Ihr <b>zellbiologisches Fachwissen</b> im Vergleich zu Ihrem Wissen in anderen Fachgebieten der Biologie ein? ( <input type="checkbox"/> niedrig <input type="checkbox"/> eher niedrig <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> eher hoch <input type="checkbox"/> hoch)
Einschätzung zur Berufsrelevanz des universitär vermittelten Fachwissens	Eigenkonstruktion; 3 Items; offen	F5 - Wie schätzen Sie die <b>Relevanz</b> des universitär vermittelten Fachwissens für die Ausübung ihres späteren Berufs ein? _____
Interesse an universitär vermittelter Biologie und Schulbiologie	Skala zur Erfassung des Fachenthusiasmus aus der Studie COACTIV-R (Lowen, Baumert, Krauss & Brunner, 2011) adaptiert durch Loch, 2015); 10 Items; geschlossen (4-stufige Likert-Skala)	Interesse an der Biologie, die Sie in der <b>Universität</b> kennengelernt haben IUW 3 - Wenn ich in der Biologie etwas Neues dazulernen kann, bin ich bereit auch meine Freizeit dafür zu verwenden ( <input type="checkbox"/> Stimmt nicht <input type="checkbox"/> stimmt eher nicht <input type="checkbox"/> stimmt eher <input type="checkbox"/> stimmt)
Angaben zu angewendeten Lernstrategien	Auswahl und Adaptation aus „Inventar zur Erfassung von Lernstrategien im Studium (LIST)“ (Wild und Schiefele 1994); 15 Items; geschlossen (6-stufige Likert-Skala)	LIST_O_1 - Ich fertige Tabellen, Mind Maps oder Schaubilder an, um den Stoff besser strukturiert vorliegen zu haben ( <input type="checkbox"/> trifft gar nicht zu <input type="checkbox"/> trifft nicht zu <input type="checkbox"/> trifft eher nicht zu <input type="checkbox"/> trifft eher zu <input type="checkbox"/> trifft zu <input type="checkbox"/> trifft voll zu)

Die Antworten zu den geschlossenen Items wurden mittels *Excel 2013* und *IBM SPSS Statistics 23* ausgewertet. Die offenen Antworten der Studierenden wurden transkribiert und mithilfe des Programms *MAXQDA* in den Versionen 12, 2018 und 2020 ausgewertet. Zur Orientierung innerhalb der Auswertung wurden zunächst deduktiv Kategorien gebildet, die den groben Auswertungsrahmen vorgeben. Dieser Auswertungsrahmen wurde schließlich durch aus dem Textmaterial induktiv gebildete Kategorien ergänzt, verändert oder präzisiert.

Des Weiteren beinhaltet der Prätest Fragen zum zellbiologischen Fachwissen. Diese lassen sich inhaltlich (zum größten Teil) dem Themenbereich *Struktur und Funktion der Biomembran* zuordnen. Die Items im Wissenstest wurden in Anlehnung an die Wissensbereiche des dieser Studie zugrunde gelegten Modell des Professionswissens (Schulwissen, *erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext* und universitäres Wissen) eigenständig entworfen (Beispiele s. Tabelle 21). Die Validierung des Testinstruments war nicht Teil dieser Arbeit. Vielmehr dient das Instrument der Erfassung des Vorwissens und einem Vergleich mit den späteren Antworten innerhalb der Laut-Denken-Studie (Posttest). Dadurch können Aussagen zur Entwicklung der Konzepte über die Laufzeit des kompletten Lehr-Lernarrangements getroffen werden.

Tabelle 21 Übersicht über Items aus dem fachwissenschaftlichen Teil des Prätests

Item-Kategorie und -Beschreibung	Beispiel-Item	Erwartungshorizonte für Beispiel-Item
<p><b>Schulwissen</b></p> <p><b>3 Items geschlossen und offen</b></p>	<p>Itemname: 4_SW_SeWe</p> <p>Bauchspeicheldrüsenzellen (Pankreaszellen) bauen radioaktiv markierte Aminosäuren in Proteine ein. Diese Markierung neu synthetisierter Proteine versetzt den Forscher in die Lage, ihre Lokalisation oder ihre Bewegung in der Zelle zu verfolgen.</p> <p>In diesem Bsp. wollen wir ein von der Bauchspeicheldrüsenzelle ausgeschüttetes Enzym verfolgen. Welcher der aufgezählten ist der für das Enzym wahrscheinlichste Transportweg durch die Zelle?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> ER → Golgi-Apparat → Zellkern</li> <li><input type="checkbox"/> Golgi-Apparat → ER → Lysosom → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren</li> <li><input type="checkbox"/> ER → Golgi → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren</li> <li><input type="checkbox"/> ER → Lysosomen → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> ER → Golgi-Apparat → Zellkern</li> <li><input type="checkbox"/> Golgi-Apparat → ER → Lysosom → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren</li> <li><input checked="" type="checkbox"/> ER → Golgi → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren</li> <li><input type="checkbox"/> ER → Lysosomen → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren</li> </ul>
<p><b>Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext</b></p> <p><b>11 Items offen</b></p>	<p>Itemname: 35_vSW_KomM</p> <p>Häufig findet sich als Erklärung für das Konzept der Kompartimentierung folgende Kompartimentierungsregel: <i>Kompartimente sind membranumschlossene Reaktionsräume. Die Membran trennt dabei einen plasmatischen von einem nichtplasmatischen Raum.</i> Vereinfachend wird der Begriff Kompartiment oft mit dem Begriff Organell gleichgesetzt.</p> <p>Erläutern Sie, wie dies, bezogen auf den Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten zu Verständnisschwierigkeiten führen könnte.</p>	<p>Diese Organellen besitzen eine doppelte Membran und haben damit plasmatische und nichtplasmatische Phasen und weisen damit auch mehrere Reaktionsräumen/Kompartimente auf.</p> <p>Der perinukleäre Raum zwischen den Kernmembranen wird als nichtplasmatische und das Karyoplasma als plasmatische Phase bezeichnet.</p> <p>Mitochondrien besitzen eine doppelte Membran, wobei die innere Membran Einstülpungen aufweist. Dadurch entstehen mehrere Reaktionsräume, die als einzelne Kompartimente begriffen werden können. Das Mitoplasma/ die Mitochondrien-Matrix gilt dabei als plasmatische Phase.</p> <p>Auch Plastide weisen mehrere Membranen auf und bilden mit dem Stroma und Thylakoiden eigene Reaktionsräume.</p>
<p><b>Universitäres Wissen</b></p> <p><b>2 Items offen</b></p>	<p>Itemname: 51_UW_ASSequ</p> <p>Die Polypeptidkette eines Proteins, aus dem eine <i>tight junction</i> unter anderem besteht, durchquert die Membran vier Mal. Sie hat zwei extrazelluläre Schleifen und eine cytoplasmatische Schleife, sowie ein kurzes N- und C-terminales Stück im Cytoplasma.</p> <p>Wie würden Sie die Abfolge der Aminosäuresequenz dieses Proteins hinsichtlich der Hydrophobizität beschreiben</p>	<p>Die Aminosäuresequenz würde folgende Abfolge hinsichtlich der Hydrophobizität ausweisen: polar-unpolar- polar-unpolar-polar- unpolar -polar-unpolar-polar.</p> <p>An den Stellen an denen die Kette die Membran durchquert, weist sie eine Sequenz aus Aminosäuren auf, die unpolare Seitenketten haben (Alanin, Valin, Methionin, Leucin, Isoleucin, Prolin, Tryptophan, Phenylalanin)</p> <p>An den Stellen an denen die Kette cytoplasmatische Schleifen aufweist oder an den jeweiligen Enden sind Aminosäuren vertreten mit polaren Seitenketten (Glycin, Serin, Asparagin, Cystein, Glutamin, Tyrosin, Threonin.)</p>
<p><b>Concept Map</b></p> <p><b>1 Item – offen</b></p>	<p>Itemname: 100_vSW_CMap</p> <p>Erstellen Sie eine Concept Map zum Thema: <u>Struktur und Funktion der Biomembran.</u></p> <p><u>Fokusfrage: Wie können die Eigenschaften und die daraus folgenden Funktionen der Biomembran anhand ihres Aufbaus erklärt werden?</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bringen Sie dabei sowohl Inhalte, die Sie sich in der Zeit des Studiums angeeignet haben, als auch die Inhalte, die Ihnen noch aus der Schule bekannt sind, ein.</li> <li>• Berücksichtigen Sie die für die Struktur und Funktion der Biomembran relevanten Konzepte, Prinzipien und Modelle.</li> <li>• Geben Sie, wenn möglich, Beispiele für die von Ihnen gewählten Begriffe und Verbindungen an.</li> <li>• Prüfen Sie, inwiefern die die erstellte C-Map die Fokusfrage beantwortet.</li> </ul>	<p>Experten Map</p>



Die Fragen und Testaufgaben liegen größtenteils im offenen Format vor und bedürfen daher einer entsprechenden qualitativen Auswertung. Der Vorteil offener Aufgaben wird darin gesehen, „dass ihre Beantwortung ein aktives Hervorbringen und Konstruieren von Bedeutungszusammenhängen erfordert“ (Hammann und Jördens 2014, S. 170). Die deduktiven Kategorien zur Auswertung der offenen Aufgaben wurden „aus den verschiedenen Aspekten des fachlichen Verständnisses abgeleitet“ (Hammann und Jördens 2014, S. 172). Diese, den wissenschaftlichen Vorstellungen entsprechenden fachlichen Kategorien, gehen im Erwartungshorizont und letztendlich dem Codierleitfaden zur Auswertung des Prätests auf. Fachlich unangemessene Aussagen oder Antworten, die nicht auf der intendierten Bedeutungsebene lagen, wurden z.T. innerhalb von induktiv gebildeten Subkategorien erfasst, zusammengefasst und geordnet. Ein Auszug aus dem Codierleitfaden findet sich in Tabelle 22. Der gesamte Codierleitfaden findet sich im Anhang II.a) dieser Arbeit.

Tabelle 22 Auszug aus dem Codierleitfaden zur Auswertung des fachwissenschaftlichen Teils des Prätests

Item	35_vSW_KomM (Teil 1)		
<b>Einordnung</b>	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext – Wissen über fachliche Folgen von Reduktion – Wissen, um Fehlvorstellungen zu identifizieren - Wissen über Theorien - sensible Verwendung der Fachsprache		
<b>Begründung der Einordnung</b>	Bei der Auseinandersetzung mit dem Konzept der Kompartimentierung fällt ein uneinheitlicher Gebrauch des Begriffs in der Literatur auf. Ein eher undifferenzierter Zugang ist die Gleichsetzung eines Kompartiments mit einem Organell. Dies sollte Lehrkräften bewusst sein, wenn mit diesen Begriffen (auch im Zusammenhang mit dem Basiskonzept der Kompartimentierung) gearbeitet wird. Bei der Lösung der Aufgabe wird sowohl ein sensibler Umgang mit der Fachsprache gefordert, als auch ein Wissen über die Folgen von Reduktion, wenn ebenjene Begriffe gleichgesetzt werden.		
<b>Wortlaut:</b>	<p><b>Häufig findet sich als Erklärung für das Konzept der Kompartimentierung folgende Kompartimentierungsregel: Kompartimente sind membranumschlossene Reaktionsräume. Die Membran trennt dabei einen plasmatischen von einem nichtplasmatischen Raum. Vereinfachend wird der Begriff Kompartiment oft mit dem Begriff Organell gleichgesetzt.</b></p> <p><b>Erläutern Sie, wie dies, bezogen auf den Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten zu Verständnisschwierigkeiten führen könnte.</b></p>		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
<b>Fachlich nicht angemessene Aussagen</b>	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird sowohl codiert, wenn die Aussage fachlich falsch ist, jedoch auch wenn die Antwort zwar als Aussage nicht falsch ist, aber dennoch keine fachlich angemessene Antwort auf die Frage darstellt.	<i>Auch in Kompartimenten kann ein Plasma vorliegen. In Chloroplasten zum Beispiel.</i> (Prätest_WiSe18_19_MA12RT: 65 - 65)
<b>Doppelte Membranen</b>	Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten besitzen eine doppelte Membran und	Wird codiert, wenn bezüglich der genannten Organellen mit zwei Membranen oder doppelten Membranen innerhalb dieser argumentiert wird.	<i>Sie besitzen je eine Doppelmembran, durch die öfter zwischen plasmatischen und nicht-plasmatischen Räumen getrennt wird.</i> (Prätest_WiSe18_19_MA09RG: 65 - 65)
<b>Plasmatische und nicht-plasmatische Phasen</b>	Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten weisen plasmatische <u>und</u> nichtplasmatischen Phasen auf	Wird codiert, wenn plasmatischer und nicht plasmatischer Raum innerhalb der genannten Organellen richtig benannt werden und/oder wenn mehrfach vorhandene plasmatischen und nichtplasmatischen Phasen beschrieben werden.	<i>Sie besitzen je eine Doppelmembran, durch die öfter zwischen plasmatischen und nicht-plasmatischen Räumen getrennt wird.</i> (Prätest_WiSe18_19_MA09RG: 65 - 65)
<b>Mehrere Reaktionsräume</b>	Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten weisen mehrere Reaktionsräumen/Kompartimente auf.	Wird codiert, wenn mehrere Reaktionsräume/Kompartimente der genannten Organellen beschrieben werden und/oder wenn die Kompartimentierung dieser Organellen beschrieben wird.	<i>Mitochondrien und Chloroplasten, beispielsweise, sind kompartimentiert und gehören zu den Zellorganellen</i> (Prätest_WiSe18_19_HE27DT: 65 - 65)

## 14.2.2 Kooperative Erstellung einer Concept Map

Die Lernaufgabe zur kooperativen Erstellung der Concept Map wurde bereits im Kapitel 12.2 beschrieben und theoretisch hergeleitet. Die Datenerhebung mittels Audiographie und Videographie begann unmittelbar nach dem Erläutern der Aufgabenstellung durch die Seminarleitung. Der Seminarraum wurde vor der Lehrveranstaltung entsprechend mit Arbeitstischen eingerichtet, dass die Zweier-, bzw. Dreiergruppen gut arbeiten konnten. Die digitalen Videokameras und Aufnahmeegeräte wurden ebenfalls bereits vor Beginn der Lehrveranstaltung platziert (s. Abbildung 29). Dieses Setting wurde im Pilotzyklus erprobt und verbessert, indem die Teilnehmenden möglichst weit auseinander gesetzt wurden und die digitalen Aufnahmeegeräte näher an den sprechenden Personen platziert wurden.

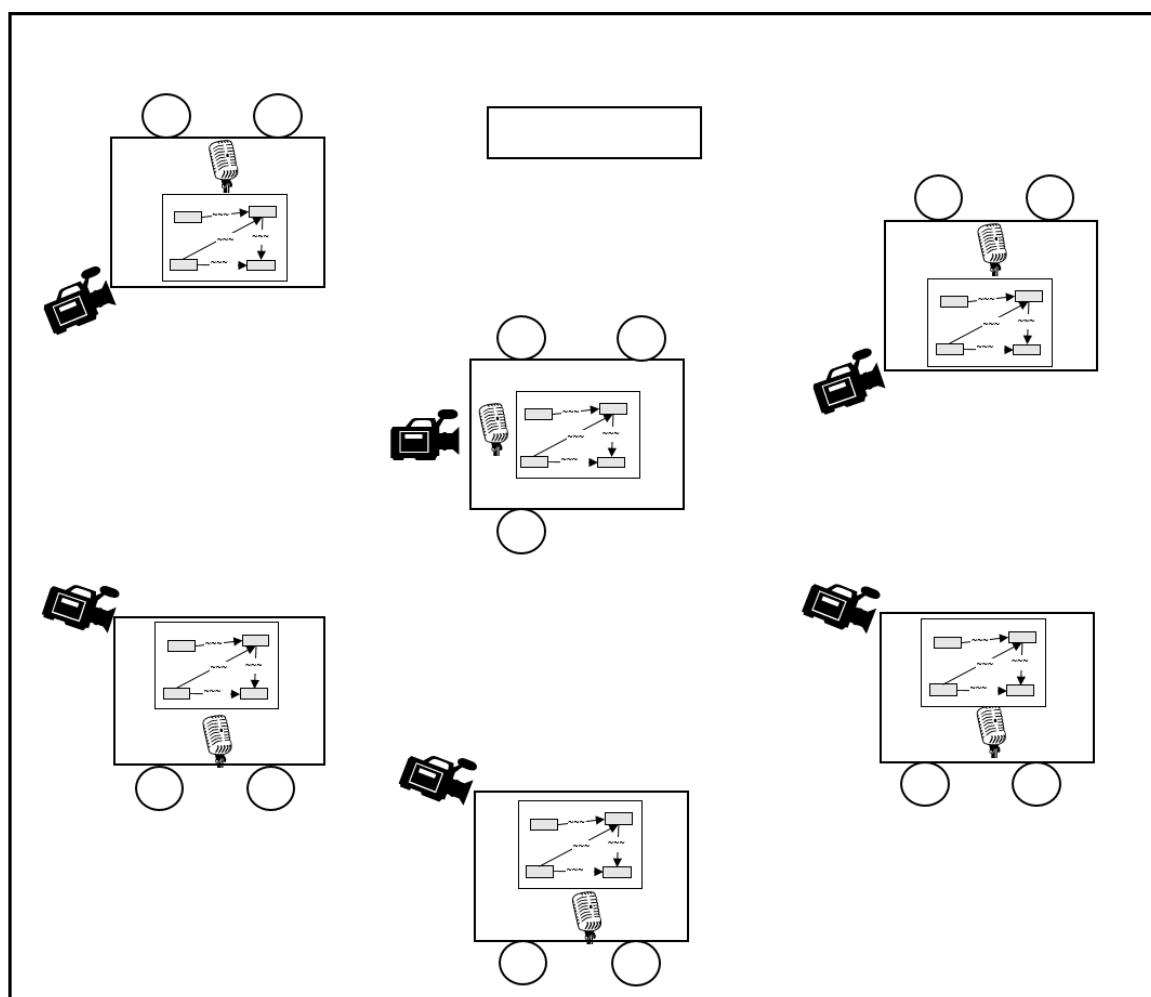


Abbildung 29 Prototypisches Setting zur Datenaufnahme bei der kooperativen Erstellung einer Concept Map - hier beispielhaft für den Zyklus 1

Die letztendlich als Produkt erstellten Concept Maps der Arbeitsgruppen wurden nach Ende der Lehrveranstaltungssitzung von der Seminarleitung eingesammelt.

Durch die erwünschte Eigendynamik der Diskussion bei der Erstellung der Concept Map ist es möglich, sich der impliziten Ebene der geäußerten Vorstellungen anzunähern. Der Vorteil einer Gruppendiskussion zur Bewältigung einer gemeinsamen Problemstellung liegt darin, dass sich die Diskussionsteilnehmenden vorwiegend aufeinander beziehen und sich nicht an den vermeintlichen Erwartungen des Interviewenden orientieren. In fast allen Fällen sind sich die Gruppenmitglieder durch das gemeinsame Studium bekannt, insofern kann an die

Alltagspraxis sozialer Interaktion und Kommunikation angeknüpft werden (Billmann-Mehecha und Gebhard 2014).

Für die Auswertung des Design-Experiments zur kooperativen Erstellung der Concept Map wurden zunächst die Audioaufnahmen transkribiert. Die Videoaufnahmen dienten ergänzend zur Identifikation der jeweiligen Sprechenden und der Bestimmung dessen, was die Studierenden gerade taten. Beispielsweise kann Schweigen in einer reinen Audioaufnahme vielfältig interpretiert werden (lesen, überlegen, abwesend sein, etc.). Die Videoaufnahme hilft bei der Interpretation. Transkribiert wurde nach dem vereinfachten Transkriptionssystem von Dresing und Pehl (2017, S. 21–23), die ihrerseits die Vorschläge von Kuckartz (2010) weiterentwickelten. Bei diesen Regeln wird der Fokus der Auswertung auf den Inhalt gelegt anstatt auf eine komplexe Darstellung nichtsprachlicher Phänomene. Beispielsweise werden Dialekte oder Wortverschleifungen geglättet und an das Schriftdeutsch angepasst. Syntaktische Fehler werden jedoch beibehalten. Auch Verständnissignale oder Füllwörter (z.B. hmm und ähm) werden nicht transkribiert. Wichtige nonverbale Äußerungen (hier z.B. lachen oder lesen) werden im Klammern notiert.

Zur Auswertung dieser Transkripte wurden zunächst deduktiv Kategorien in Form von fachlichen Konzepten innerhalb der Wissenskategorien des Schulwissens und des universitären Wissens gebildet. In Vorbereitung auf die Entwicklung des Studien- und Lehrveranstaltungsdesigns wurde (wie bereits in Kapitel 11.2 beschrieben) eine curriculare Analyse durchgeführt, welche die zentralen wissenschaftlichen Konzepte im Themenbereich Biomembran herauskristallisierte. Die gewonnenen Konzepte gingen daraufhin als inhaltliche Kategorien des Schulwissens und universitären Wissens auf. Als Selektionskriterium für die zu codierenden Stellen im Textmaterial galt der fachwissenschaftliche Inhaltsbezug. Ausschließlich strukturierende oder außerfachliche Gesprächsabschnitte wurden nicht codiert. Einige Kategorien, die in der curricularen Analyse nicht fokussiert, jedoch von den Studierenden häufiger erwähnt wurden (beispielsweise die funktionelle Unterscheidung von Transportproteinen), wurden im Kategoriensystem durch induktiv gebildete Kategorien ergänzt. Es wurden ebenfalls neue Kategorien gebildet, wenn sich Kategorien als nicht trennscharf herausstellten. In diesem Falle wurden induktiv Kategorien gebildet, die den Aussagen der jeweiligen Segmente entsprachen (Kuckartz 2012).

Darüber hinaus wurden Kategorien zur Bewertung der fachlichen Angemessenheit verschiedener Aussagen deduktiv erstellt. Die Weiterentwicklung dieser Kategorien erfolgte induktiv am Datenmaterial. Der Codierleitfaden für die Analyse dieser Lerngelegenheit findet sich im Anhang II.b) dieser Arbeit. Ein Auszug daraus ist in Tabelle 23 ersichtlich. Die Form des Codierleitfadens entspricht der von Gläser-Zikuda (2008, S. 73) und Mayring (2015, S. 111–112) vorgeschlagenen.

Tabelle 23 Auszug aus Codierleitfaden für die kooperative Erstellung von Concept Maps zum Thema Struktur und Funktion von Biomembranen (vollständiger Codierleitfaden im Anhang II.b)

<b>Hauptkategorie: Bewertung fachlicher Aussagen</b>			
<b>Subkategorien</b>	<b>Definition</b>	<b>Codierregel</b>	<b>Ankerbeispiele</b>
<b>sprachlich schwach</b>	Die Aussage ist nicht unbedingt fachlich unangemessen, aber weist fachsprachliche Mängel auf.	Wird codiert, wenn die Aussage fachsprachlich nicht angemessen und/oder überaus umgangssprachlich ist.	DE05RG: Es gibt hydrophile Köpfchen und... CL22EF: ...hydrophobe... DE05RG: ...hydrophobe Fortsätze. Soll ich Fortsätze und Köpfchen schreiben, oder? CL22EF: Fortsätze und Köpfchen. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 7 - 10)
<b>Richtigstellung</b>	Eine zuerst fachlich unangemessene, naive, unvollständige Aussage wird fachlich angemessen dargestellt.	Wird codiert, wenn der geäußerte Sachverhalt zuvor fachlich unangemessen, naiv, unvollständig, sprachlich schwach wiedergegeben wurde, nun aber auf einem fachlich angemessenen Niveau korrigiert wurde. Beispielsweise, wenn sich Kommilitonen korrigieren, Konzepte interpretativ erschlossen werden oder fachliche Sachverhalte nachgeschlagen wurden	JU13IN: Glycerin. (...) Ist Membranfluss gleich Membranfluidität? #-0 MA12RT: Ja. JU13IN: Nein. Scheinbar nicht. Hier steht noch Membranfluidität. (...) MA12RT: Membranfluss ist das mit den Vesikelbildungen. Hüllproteine, Membranmodell. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 230 - 233)
<b>Fachlich unangemessen</b>	Eine oder mehrere fachlich unangemessenen Aussagen werden geäußert.	Wird codiert, wenn die Aussagen, die gemacht wurden als fachlich nicht angemessen zu bewerten sind, das heißt, wenn sie sich als inkompatibel zu fachlich angemessenen Konzepten erweisen.	JU13IN: Da steht amphiphil. Das ist etwas anderes. Amphipatisch. Amphiphil mag Fett. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 136 - 136)
[...]			

[...]

<b>Hauptkategorie Schulwissen</b>			
<b>Subkategorien</b> • Sub-Subkategorien	<b>Definition</b>	<b>Codierregel</b>	<b>Ankerbeispiel</b>
<b>Lipide sind Hauptbestandteile einer Lipiddoppelschicht</b> • Lipide haben hydrophoben und hydrophilen Anteil • Hydrophobe Bereiche lagern sich zusammen • [...]	Konzepte und Zusammenhänge bezüglich des allgemeinen strukturellen Aufbaus der Biomembran hinsichtlich der Phospholipide (innerhalb der Wissenskategorie Schulwissen)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	CL22EF: Da gibt es doch die Wechselwirkungen, die das Ganze zusammenhalten. Das keine Bindungen ausgebildet werden, sondern dass es wirklich nur...mir fehlt das Wort gerade. DE05RG: Ich weiß nicht, ob es da vielleicht schon mit drin ist. Ich weiß was du meinst. Also dass sich die... CL22EF: Dass sich die hydrophoben Teile...Genau. DE05RG: ...zusammenlagern und so. Ich weiß aber nicht welche Wechselwirkungen das, ehrlich gesagt, genau sind. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 74 - 80)
<b>Membranen weisen vielfältige Funktionen auf</b> • Membran ist eine physiologische Barriere • Kompartimentierung durch Bildung von Reaktionsräumen (+10 weitere Beschreibungen) • [...]	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Funktion von Biomembranen im Sinne der Kompartimentierung und Kommunikation (innerhalb der Wissenskategorie Schulwissen)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	DE05RG: [...] Also zwei wässrige Milieus oder so. Abgrenzung von wässrigen Milieus. Etwas anderes macht es ja nicht. Es sind immer wässrige Phasen. Oder Phasen vielleicht besser? Ja. Ich glaube Phasen sind... CL22EF: Ja, nimm Phasen. DE05RG: Also Abgrenzung von zwei wässrigen Phasen. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 34 - 36)
[...]			

Obgleich der Fokus der Auswertung auf der Wahrnehmung der Lerngelegenheit und dem Lernprozess lag, wurde auch die letztendlich erstellte Concept Map bezüglich ihres fachlichen Gehalts und des zugrundeliegenden Niveaus ausgewertet. Zur vergleichenden Einschätzung der Qualität der Concept Map einer Gruppe mit anderen Gruppen wurde ein Score für die jeweils erstellte Concept Map berechnet.

Dieses Bewertungssystem orientiert sich am vorgeschlagenen System von Clausen und Christian (2012), wonach für bestimmte Relationen, gemäß ihres zugrunde liegenden kognitiven Anspruchs, Punkte vergeben werden. Die qualitativen Kategorien, wonach die Relationen bewertet wurden, finden sich in Tabelle 24.

Tabelle 24 Kategorien zur Beschreibung von Relationen innerhalb einer Concept Map mit Beispielen (orientiert an Clausen und Christian 2012)

Kategorie Relation	Ankerbeispiele
Nicht wertbare Beziehung (fachlich nicht angemessen)	Biomembran $\xrightarrow{\text{verursacht}}$ Zellwachstum
Beschriftung fehlt	Vesikel $\xrightarrow{\quad}$ Exo-/Endocytose
Beschreibung (über Adjektive)	Aminosäuren $\xrightarrow{\text{sind}}$ lipophil/lipophob
Kennzeichnung (lokal, modal, analog)	integrale Proteine $\xrightarrow{\text{sind eingelagert in}}$ Biomembran
Hierarchie (Ober- und Unterbegriffsrelation)	Proteine $\xrightarrow{\text{bestehen aus}}$ Aminosäuren
Ursache-Wirkungsbeziehung	Membranlipidklasse $\xrightarrow{\text{beeinflusst}}$ Membrandicke

Das System der Punktevergabe für die jeweiligen Relationen, in Anlehnung an Clausen und Christian (2012, S. 25), ist in Abbildung 30 ersichtlich. Nicht wertbare Beziehungen sind fachlich nicht angemessen. Dementsprechend werden für nicht wertbare Beziehungen keine Punkte vergeben. Werden fachlich angemessene Wirkbeziehung durch einen unbeschrifteten Pfeil aufgezeigt, wird ein Punkt vergeben. Zwei Punkte werden für Relationen zur Kennzeichnung, Gruppenbildung oder zur Hierarchiebildung vergeben. Die anspruchsvollste Relation ist die Ursache-Wirkungsbeziehung, für die vier Punkte vergeben werden. Durch die Summierung der Propositionspunkte wird ein Gesamtscore ermittelt.

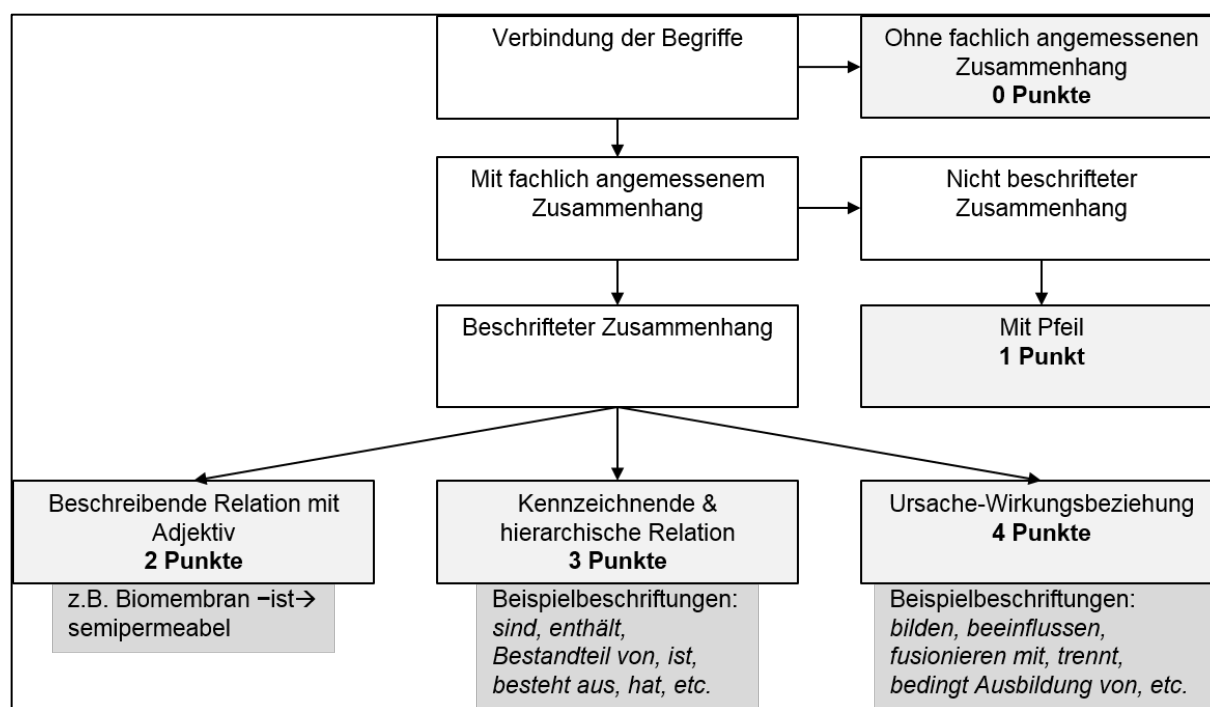


Abbildung 30 Scoringssystem für die Bewertung von Propositionen einer Concept Map (modifiziert nach Clausen und Christian 2012)

### 14.2.3 Retrospektive (Partner-)Interviews zu den Lerngelegenheiten

Nach den Lerngelegenheiten zur kooperativen Erstellung der Concept Map, zur Dekonstruktion von schulischen Materialien und zur Rekonstruktion einer konzeptorientierten Sachanalyse und eines Lerntexts wurden retrospektive (Partner-) Interviews zur Wahrnehmung der Lerngelegenheit durchgeführt. Die Fragen beziehen sich schwerpunktmäßig auf das Vorgehen, Selbstauskünfte zur Herkunft des angewendeten Wissens, auf wahrgenommene inhaltliche Schwierigkeiten und auf die wahrgenommene Relevanz der Lerngelegenheit und des bearbeiteten Inhalts für die Ausübung des späteren Berufs. Wie beim Interview als Erhebungsmethode üblich, bezieht sich die Auswahl der Leitfragen systematisch auf die in Kapitel 10 aufgeführten Forschungsfragen (Reinders 2011). Das Interview folgt dem Prinzip der *retrospektiven Introspektion* (Merton und Kendall 1993). Dabei wird der Gegenstand des Interviews, in diesem Falle die zuvor bearbeitete Lernaufgabe, vorgegeben.

Im Zyklus 1 und 2 wurden die Studierenden gebeten, ihre Peers im Anschluss an die wahrgenommene Lerngelegenheit zu befragen. Nachdem ein Interview durchgeführt wurde, wurden die Rollen getauscht. Die zuvor interviewende Person war nun die interviewte Person. Die Erwartung war, dass sich die Studierenden gegenüber ihren Peers in ihrem Antwortverhalten offener zeigten und weniger sozial erwünscht antworten. Des Weiteren spielten zeitökonomische Aspekte bei der Auswahl dieses Interviewmodus eine Rolle. Die Partnerinterviews konnten von den Gruppen gleichzeitig durchgeführt werden, sodass 15 Minuten für die Durchführung im Großteil der Fälle ausreichend waren. Im Zyklus 1 und 2 hat sich gezeigt, dass das Frage- und Antwortverhalten gegenüber den Mitstudierenden nicht den Erwartungen entsprach. Durch mangelnde zeitliche Ressourcen konnte die Vorgehensweise des Interviews nur sehr kurz erläutert werden. Dies führte dazu, dass die Interviewenden die Frage in einem Großteil der Fälle lediglich ablesen, keine Verständnis-

und keine weiterführenden Fragen stellten. Die Interviewten antworteten entsprechend sehr kurz und häufig ohne Begründung auf die Fragen. Im Zyklus 3 wurde dieses Verfahren eingestellt und durch ein „klassisches“ Kurzinterview ersetzt. Die interviewenden Personen waren nun die Seminarleitung und eine mit dem Forschungsgegenstand vertraute und instruierte Hilfskraft. Beide verfügten über eine gewisse Sensibilisierung bezüglich der Problemstellung und konnten dementsprechend gezieltere Fragen und Nachfragen formulieren. Geschulte Personen erkennen leichter, wenn die Antwort der interviewten Person nicht der intendierten Bedeutung der Frage entspricht und können bei etwaigen Verständnisschwierigkeiten die Frage umformulieren.

Die Leitfragen innerhalb des Interviews variieren in ihrer jeweiligen Bezugnahme auf die entsprechenden Lerngelegenheiten und der Wahrnehmung dieser. Beispielhaft sind die Leitfragen für das Kurzinterview zur Wahrnehmung der Lerngelegenheit zur kooperativen Erstellung der Concept Map der Abbildung 31 zu entnehmen. In grau sind Notizen für die interviewende Person verfasst, welche bei der Leitung der Gesprächsrichtung helfen sollen.

<p><b>Interview-Leitfaden zur Reflexion der Lerngelegenheit zur Erstellung einer Concept Map</b>  <b>Bitte vorher persönlichen Code einsprechen!!!</b></p>
<p><b><u>Fragen / Leitfaden</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Woher waren dir die in deiner Concept Map vorkommenden Inhalte größtenteils bekannt?  <div style="padding-left: 20px; color: grey;">Vorlesung, Klausurvorbereitung, Schulzeit, Auseinandersetzung mit der Thematik außerhalb der Uni/Schule aus Interesse; Vorbereitung auf die Seminarsitzung, ...  Einzelne Inhalte - unterschiedliche Wissensherkunft?</div> </li> <li>- Beschreibe, was du heute bei der Erstellung der Concept Map inhaltlich-fachlich dazugelernt hast?  <div style="padding-left: 20px; color: grey;">Wurde etwas nachgeschlagen? Was konkret?  Auffrischung? In welchem Bereich?  Zusammenhänge? In welchem Bereich?</div> </li> <li>- Hattest du inhaltlich-fachliche Schwierigkeiten bei der Erstellung der Concept Map? Wenn ja, an welchen spezifischen Stellen?  <div style="padding-left: 20px; color: grey;">Unsicherheiten? Wo besteht noch Verbesserungsbedarf?</div> </li> <li>- Für wie relevant hältst du die heute erarbeiteten fachlichen Inhalte für die Ausübung deines späteren Berufs? Begründe deine Antwort.  <div style="padding-left: 20px; color: grey;">Bei Antworten in Kategorie: Kein Schulwissen, „das müssen Schüler nicht wissen“ etc. →  Und für dein Wissen als Lehrkraft? Wichtig? Relevant? Wenn ja, wofür?</div> </li> <li>- Kannst du Inhalte benennen, die du deines Erachtens <u>nicht</u> für deinen späteren Beruf benötigst? Wenn ja, welche?  <div style="padding-left: 20px; color: grey;">Einzelne konkrete Inhalte benennen und begründen</div> </li> </ul>

Abbildung 31 Leitfaden für das Kurzinterview zur Wahrnehmung der Lerngelegenheit zur kooperativen Erstellung der Concept Map

Ziel der Auswertung des Interviews ist, eine Einschätzung darüber vornehmen zu können, wie in Einzelfällen mit der jeweiligen Lerngelegenheit umgegangen wurde und wie bestimmte Aspekte der Lerngelegenheit wahrgenommen wurden. Dementsprechend wurden zur Auswertung zunächst deduktive Kategorien gebildet, die schließlich in mehreren Zyklen durch induktive Kategorien ergänzt wurden. In Folge des Zyklus 1 wurde das deduktive Kategoriensystem durch eine Bachelorarbeit (Griebel 2017) überarbeitet und durch induktiv gebildete Kategorien ergänzt. Die deduktiven Kategorien wurden anhand der Leitfragen entwickelt und boten einen generellen Fokus für die Auswertung (Auszug s. Tabelle 25, gesamter Codierleitfaden im Anhang II.e dieser Arbeit).

Tabelle 25 Auszug aus dem Codierleitfaden zur Auswertung eines retrospektiven (Partner-)Interviews zur Wahrnehmung einer Lerngelegenheit (verändert nach Griebel 2017) (vollständiger Codierleitfaden im Anhang II.e)

Leitfrage 4: Für wie relevant hältst du die heute erarbeiteten fachlichen Inhalte für die Ausführung deines späteren Berufs? Begründe deine Antwort.			
Hauptkategorie: Berufsrelevanz			
Subkategorie • Sub-Subkategorie	Definition	Codier-Regel	Ankerbeispiel
<b>Umfang Relevanz</b> • gar nicht • teilweise • sehr	Die Kategorie beschreibt Aussagen zum Umfang der wahrgenommenen Berufsrelevanz	Wird nur codiert, wenn Aussagen zum Umfang der Relevanz getroffen werden. Die Kategorien 6.2. – 6.4. können dieser Kategorie im Rahmen der Begründung folgen.	„Ich halte das was wir gemacht haben für sehr relevant“
<b>Begründung Arbeitsfelder</b> • Unterrichtsdurchführung • Unterrichtsvorbereitung • Unterrichtsreflexion	Die Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung, die zukünftige Arbeitsfelder betreffen, in denen das Wissen entweder für relevant oder irrelevant betrachtet wird.	Wird im Rahmen von Aussagen zur Begründung codiert, wenn direkt ein Arbeitsfeld benannt wird für das Wissen als relevant.	„Also in der siebten Klasse würde ich es vielleicht nicht so detailliert machen, aber Oberstufe dann, da darf es dann schon detailliert sein.“
<b>Begründung: Institutionelle Vorgaben</b> • Rahmenlehrplan • Abitur	Diese Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung auf Grundlage der institutionellen Vorgaben des Kultusministeriums folgt.	Diese Kategorie wird codiert, wenn im Rahmen von Aussagen zur Begründung explizit die RLP und Abiturvorgaben genannt werden.	„Ist halt in der Abiturstufe Thema“ oder „Struktur und Funktion der Biomembran ein ganz essenzielles Thema im Lehrplan ist“
<b>Begründung - Schulbezogenes Thema</b>	Diese Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung, wenn es aus dem Blickwinkel/ Standpunkt der Schule begründet wird.	Wird im Rahmen von Aussagen zur Begründung codiert, wenn Konzepte und Begriffe als wichtig für die Schule erachtet werden.	„Ja also gerade Biomembran und sowas ist echt wichtig in der Schule“
<b>Begründung eigenes Lehrerwissen</b> • Generelles Verständnis in der Biologie • Sicherung des Ausgangsniveaus	Diese Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung, die auf die Bedeutung des Lehrerwissens zurückzuführen ist.	Wird im Rahmen von Aussagen zur Begründung codiert, wenn die Bedeutung des eigenen Wissens einer Lehrkraft im Vordergrund steht.	„Weil es einem hilft den Stoff eben nochmal zu strukturieren und ja zu reaktivieren“
<b>Begründung berufsethisch</b>	Die Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung, die auf ein generelles Berufsverständnis fokussieren	Wird im Rahmen von Aussagen zur Begründung codiert, die auf generelles Berufsverständnis/ Berufsethos fokussieren.	„Ich finde es den Schülern gegenüber nicht fair, wenn man ihnen erzählt wie wichtig das Verständnis darüber ist und man es sich aber selbst erst kurz vor der Stunde angelesen hat.“

#### 14.2.4 Design-Experiment zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten

Das Datenerhebungssetting bezüglich der Lerngelegenheit zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten entspricht dem zur kooperativen Erstellung der Concept Map (s. Abbildung 29). Die Studierenden fanden sich an Gruppentischen zur Bearbeitung der Lernaufgabe in Zweier- oder Dreier-Teams per Los zusammen. Während der Arbeitszeit von ca. 30 Minuten wurde der Arbeitsprozess audio- und videographiert.

Die jeweiligen Gruppengespräche wurde wiederum nach den einfachen Transkriptionsregeln von Dresing und Pehl (2017) transkribiert.

Das verwendete Kategoriensystem zur Auswertung der Gruppengespräche wurde auf Grundlage der Leitfragen zur Aufgabe (s. Abbildung 23) erstellt. So konnte bestimmt werden, welche Gesprächsanteile sich auf welche Leitfragen beziehen und wie die Leitfragen



bearbeitet wurden. Wie auch bei der kooperativen Erstellung der Concept Map wurden nur fachlich-inhaltliche Sequenzen codiert. Strukturierende oder außerfachliche Gespräche wurden nicht codiert. Darüber hinaus wurden auch Kategorien zur Bewertung der fachlichen Aussage mit in das Kategoriensystem aufgenommen. Ein Auszug aus dem Codierleitfaden findet sich in Tabelle 26. Der vollständige Codierleitfaden findet sich im Anhang II.c) dieser Arbeit.

Tabelle 26 Auszug aus dem Codierleitfaden zur Auswertung der Dekonstruktion von Schulbuchtexten. (vollständiger Codierleitfaden im Anhang II.c)

Hauptkategorie: Leitfragen			
Subkategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
<b>Vorwissen, um Begriffe/ Textabschnitte zu verstehen</b>	Benötigtes Vorwissen, um Begriffe oder Textabschnitte im vorliegenden Text zu verstehen.	Wird codiert, wenn genannt wird, dass die Begriffe oder Textabschnitte nicht ohne Vorwissen zu verstehen wäre. Auch die Erklärung dafür wird mitcodiert.	GA17DT: <i>Aber ich würde auch sagen, dass die Bestandteile auch Vorwissen ist. Weil hier steht, die sind zu erkennen. Also musst du eigentlich schon wissen wie die aussehen. Da steht einfach nur, dass zu erkennende sind Mitochondrien. Aber du weißt noch gar nicht wie ein Mitochondrium aussieht.</i> HE27ST: <i>Stimmt.</i> GA17DT: <i>Also musst du es vorher auch gehabt haben. Oder? Wenn man die Beschriftung weglässt. Ich weiß nicht ob die Beschriftung auch dazu zählt oder nicht. Wenn man die Beschriftung oben weglässt und da steht einfach ‚Man sieht ein Mitochondrium‘, muss ich wissen wie ein Mitochondrium vorher aussieht.</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_GA17DT_MA12RT_HE27DT 102-104)
<b>Folgen von Reduktionen</b>	Vorstellungen, die durch die Reduktionen beim Leser/in ausgelöst werden können	Wird codiert, wenn explizit (positive oder negative) Folgen bezüglich des fachlichen Verständnisses von Leser*innen genannt werden, die durch fachlich reduzierte Textstellen auftreten können. Wird auch codiert, wenn benannt wird, dass die Reduktion keine negativen Folgen hat.	HE27ST: <i>Und eigentlich kann man ja hier, wenn man dreischichtigen Aufbau hört, kann man das auch so sehen, dass sie denken, das diese Membran nicht doppelschichtig ist. Also keine Doppelmembran ist, sondern vielleicht dreifach. Als dreischichtiger Aufbau, dass sie denken, dass es keine Doppelmembran ist, sondern eine dreifache.</i> GA17DT: <i>Das wären dann die Folgen. Reduktion. Folgen.</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_GA17DT_MA12RT_HE27DT 215-216)  JU13IN: <i>Ich weiß nicht ob das schon zu einer Reduktion gehört, aber ich finde das „gezielt“ ein bisschen komisch, weil irgendwie vermittelt mir das „gezielt“, die Zelle will jetzt mehr Moleküle von dem und dem haben. Also holt sie explizit die irgendwie raus.</i> (Transkript_Audio_Dekonst_JU13IN_CL22EF_BE03IN: 31)
<b>Identifizierte Konzepte</b>	Biologische Konzepte, die im Text erkannt worden sind.	Wird codiert, wenn die Konzepte explizit genannt werden.	JU13IN: <i>Bzw. dann ist das doch eigentlich ein Konzept oder? Die Unterschiede von pro- und eukaryotischen Zellen.</i> BE03IN: <i>Ja. (...)</i> (Transkript_Audio_Dekonst_JU13IN_CL22EF_BE03IN: 63-64)
[...]			

[...]

Hauptkategorie: Fachliche Hürden			
Subkategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
-	Eine oder mehrere Aussagen sind fachlich unangemessen dargestellt.	Wird codiert, wenn die Aussage(n), die gemacht worden sind, fachlich nicht angemessen sind und biologische Konzepte falsch dargestellt werden.	GA17DT: <i>Was meinen sie denn mit zwei elektronendichte Linien? Elektronendichte Linien? Was sind denn elektronendichte Linien?</i> (...) MA12RT: <i>Aber wäre es dann nicht besser zu sagen zwei elektronenlichtundurchlässige Linien? Das versteht man vielleicht besser als zwei elektronendichte.</i> GA17DT: <i>Elektronendichte Linien.</i> HE27ST: <i>Elektronendichte? Ich denke, das ist, wenn ganz viele Elektronen und da kommt das Licht nicht durch. Und dadurch ist der Bereich dunkel und da wo weniger Elektronen sind kommt mehr Licht durch.</i>

### 14.2.5 Design-Experimente zur Erstellung von Sachanalysen und fachlichen Lerntexten

Zur Erstellung der Sachanalyse und des Lerntextes wurden die in Abbildung 25 und 27 dargestellten Vorlagen genutzt. Die Sachanalyse wurde dabei von den Studierenden außerhalb der Lehrveranstaltung fertig gestellt.

Sowohl Sachanalyse als auch Lerntext wurden mit Hilfe der Kategorien, die anhand der Leitfragen (s. Abbildung 24 und 26) entwickelt wurden, ausgewertet. Diese Leitfragen orientieren sich wiederum an den Facetten des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext*. Ebenfalls wurden, wie auch bei der Auswertung der andern Lerngelegenheiten, Kategorien zur Bewertung der fachlichen Aussagen in den Codierleitfaden (z.B. „fachlich nicht angemessen“ nicht angemessen oder „sprachlich schwach“) mit aufgenommen. Durch dieses Vorgehen konnte analysiert werden, wie die Studierenden mit den Leitfragen umgingen und inwiefern sie in dieser Situation *erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext* anwenden konnten. Darüber hinaus wurden die beiden erstellten Texte auch anhand von fachwissenschaftlichen Kategorien innerhalb des Schulwissens und des universitären Wissens ausgewertet.

Ein Auszug aus dem Codierleitfaden für die Erstellung der Sachanalyse findet sich in Tabelle 27. In diesem Auszug findet sich jeweils ein Beispiel für die Hauptkategorien „Fachliche Konzepte“, „Bewertung der fachlichen Aussage“ und „Leitfragen“ mit jeweils einer Ausprägung in Form einer Subkategorie. Der vollständige Codierleitfaden findet sich im Anhang II.d) dieser Arbeit.

Tabelle 27 Auszug aus dem Codierleitfaden für die Erstellung der Sachanalyse (vollständiger Codierleitfaden im Anhang II.d)

<b>Hauptkategorie: Fachliche Konzepte</b>			
<b>Subkategorien</b> • Sub-Subkategorien	<b>Definition</b>	<b>Codierregel</b>	<b>Ankerbeispiele</b>
<b>Universitäres Wissen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Endocytoseweg</li> <li>• Sekretorischer Weg</li> <li>• Exocytosearten</li> <li>• Vesikeltransport über Cytoskettelemente und Motorproteine</li> <li>• dynamisches Gleichgewicht Endo-/Exocytose</li> <li>• Membranrecycling</li> <li>• Vesikelabschnürungsprozesse               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Hüllproteine</li> <li>-beteiligte Proteine</li> </ul> </li> <li>• Vesikelfusionsprozesse               <ul style="list-style-type: none"> <li>-beteiligte Proteine</li> <li>Rezeptoren</li> </ul> </li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Stofftransports in der Zelle am Beispiel Endo- und Exocytose (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens).	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	MA12RT: „Bei allen Vesikelabschnürungsprozessen spielt dabei z.B. das Aktin-Cytoskelett eine Rolle. Dies ist so, da Aktin eine wichtige Rolle bei der Endocytose spielt, da Aktin an der engsten Stelle bei der Abschnürung in hoher Konzentration vorliegt, um dem Dynamin zu helfen, welches das Abschnüren der Vesikel durch die erforderliche GTPase Dynamin erst ermöglicht. Die Abschnürung wird außerdem durch die Polymerisation von Aktin zu Aktinfilamenten begünstigt.“
[...]			

Hauptkategorie: Bewertung fachlicher Aussage			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
<b>Fachliche Hürden</b>	Eine oder mehrere Aussagen sind fachlich unangemessen dargestellt.	Wird codiert, wenn die Aussage(n), die gemacht worden sind, fachlich nicht angemessen sind und biologische Konzepte falsch dargestellt werden.	BÄ04AU: „Weiterhin kann man zwei Fehler der Endocytose erwähnen (Endosymbiose; Cholesterinwerte) und damit einen weiteren Ausblick in die Zukunft geben.“ BE03IN: „Bei der Vesikelbildung kommen verschiedene Hüllproteine zum Einsatz. Diese sind die Coat-Proteine, Clathrin, Calveolin und Aktin.“
[...]			
Hauptkategorie: Leitfragen			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
<b>Konzepte explizit benannt</b>	Wenn innerhalb des Textes Konzepte erkannt werden und explizit benannt werden .	Wird codiert, wenn die Konzepte explizit gekennzeichnet werden.	CH10IN: „Konzept: Exocytose/Endocytose ist die Abgabe/Aufnahme von Stoffen durch die Abschnürung von Vesikeln an der Plasmamembran. DE05RG: „Konzept: Bei der Vesikelbildung können folgende Hüllproteine beteiligt sein: Coat Proteins, Clathrin und Caveolin.“
[...]			

Die Kategoriensysteme für die Auswertung der erstellten Sachanalysen und für die Auswertung der Lerntexte sind analog aufgebaut. Für die Auswertung des Lerntextes, wurde lediglich Hauptkategorie „Leitfragen“, entsprechend der Aufgabenstellung (s. Abbildung 26) angepasst. Beide Codierleitfäden finden sich im Anhang II.d) der Arbeit.

#### 14.2.6 Laut-Denken-Studie (Posttest)

Die letzte Erhebungssituation innerhalb eines Zyklus stellt ein Posttest dar, welcher als Laut-Denken-Studie angelegt ist. Lautes Denken ist per Definition das „Aussprechen von Gedanken simultan zur Bearbeitung einer Aufgabe“ (Sandmann 2014, S. 181). Die geäußerten Gedanken sind hierbei nicht zwingend logisch oder zielführend strukturiert. Die Analyse von Denkprozessen, bzw. von wiedergegebenen Ausschnitten von Denkprozessen steht bei Laut-Denken-Studien im Vordergrund (Sandmann 2014). Die zu beantwortenden Fragen entsprechen denen im Prätest. Einige nicht-kognitive Aspekte, die im Prätest erhoben wurden, bei denen aber über einen Zeitraum von sieben bis acht Wochen keine Änderung im Antwortverhalten zur erwarten ist (z.B. Anwendung von Lernstrategien im Studium), wurden nicht erneut erhoben.

Die teilnehmenden Studierenden<sup>18</sup> wurden einzeln in einer Laborsituation zunächst in die Durchführung der Laut-Denken-Studie von der Seminarleitung oder einer instruierten Hilfskraft eingeführt. Dazu wurde der Ablauf erläutert und eine kurze Übung zum *Lauten Denken* durchgeführt, indem die Studierenden abschätzen sollten, wie viele Türen und

<sup>18</sup> Die Teilnahme an der Laut-Denken-Studie war freiwillig, d.h. dass nicht alle Teilnehmenden am Seminar auch an der Laut-Denken-Studie teilnahmen.

Fenster es in ihrer Wohnung gibt. Hierbei sollten sie möglichst alles verbalisieren, was sie in diesem Moment dachten (vgl. Sandmann 2014).

Bei der folgenden Studiendurchführung beschränkte sich die Versuchsleitung größtenteils darauf, die Studienteilnehmenden kontinuierlich zum *Lauten Denken* aufzufordern. Die Teilnehmenden wurden bei der Beantwortung der Fragen audiographiert. Um eine bessere Vergleichbarkeit mit den formulierten Lösungen im Prätest zu gewährleisten, wurden die Studierenden zusätzlich aufgefordert, ihre gefundenen und kondensierten Antworten stichpunktartig im Testheft zu notieren.

Bei der Analyse der *Protokolle lauten Denkens* (vgl. Ericsson und Simon 1993) stehen weniger die kognitiven Operationen, wie es Kroß und Lind (2001) vorschlugen, sondern die inhaltlichen Aussagen im Fokus. Es geht darum, zu analysieren, mit welchen inhaltlichen Konzepten die Lernenden zur Beantwortung der Aufgabenstellung argumentieren, inwiefern sie sich ihrer Antwort sicher sind und ob sie die Aufgabenstellung gemäß der Intention verstehen.

Als Analyseeinheit wurde der gesamte Gedankengang, der sich mit der Aufgabenlösung auseinandersetzt, bestimmt. Mit Hilfe eines Codierleitfadens, welcher dem zur Auswertung des Prätests (beispielhaft in Tabelle 22 oder vollständig im Anhang II.a) entsprach, wurden die fachlichen Äußerungen im Hinblick auf Inhalt und fachliche Angemessenheit kategorisiert.

### 14.3 Zuverlässigkeit der Einordnung in die Kategorien (Interraterreliabilität)

Die Gütekriterien für Ergebnisse, die mit Methoden der qualitativen Sozialforschung gewonnen wurden, müssen von den Gütekriterien für quantitativ gewonnene Ergebnisse unterschieden werden.

Für die Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse spielt vor allem die Interraterreliabilität eine große Rolle (Gläser-Zikuda und Mayring 2008). Sie gilt als spezifisch inhaltsanalytisches Gütekriterium (Mayring 2015) und ist ein Maß für die Übereinstimmung der Einschätzungen von (mindestens) zwei Beobachtern. Durch dieses Maß (welches genaugenommen eher dem Gütekriterium der Objektivität zuzuordnen ist) kann überprüft werden, inwiefern die gewonnenen Auswertungen unabhängig vom Beobachter sind.

Um die Zuverlässigkeit der Einordnung in die Kategorien zu gewährleisten, wurde ein Sechstel des gesamten Datenmaterials aller Design-Experimente durch eine unabhängige Codiererin zweicodiert. Dies übertrifft den von Rädiker und Kuckartz (2019) empfohlenen Richtwert zur Zweitcodierung von 10 % des Materials. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde die Länge der zu codierenden Segmente festgelegt. Für den Prätest und die Laut-Denken-Studie wurden jeweils die gesamte Antwort mit den jeweiligen Codes codiert. Eine Textstelle konnte mehrfach codiert werden. Für die kooperative Erstellung der Concept Map wurden Sinneinheiten im Gespräch als zu codierendes Segment festgelegt.

Die prozentualen Übereinstimmungen wurden bei der Auswertung von Transkripten über das bei MAXQDA zur Verfügung stehende Tool zur Berechnung der Interraterreliabilität ermittelt. Dies war der Fall bei den offenen Fragen im Prätest, der Audiographie zur Laut-Denken-Studie, zur kooperativen Erstellung der Concept Map und zur Dekonstruktion von

Schulbuchtexten. Bei der Analyse von Studierendendokumenten, namentlich den von den Studierenden verfassten Sachanalysen und Lerntexten wurden Textstellen von handschriftlich verfassten Texten mit Bildern codiert. Weil die von Hand codierten Flächen nie passgenau übereinstimmten, konnten das Tool von MAXQDA, welches die Interrater-Übereinstimmung auf Grundlage der codierten Flächen ermittelt, nicht genutzt werden. In diesen Fällen wurden die übereinstimmenden Codes ausgezählt, ins Verhältnis zu der Gesamtcodierung gesetzt und so der prozentuale Anteil der Übereinstimmung bestimmt.

Die hier dargestellte Übereinstimmung entspricht der Übereinstimmung nach der vollzogenen *kommunikativen Validierung* zwischen den beiden Codiererinnen, deren Vorgehen Mayring (2008) folgendermaßen beschreibt:

*„Der Erstkodierer expliziert dem Zweitkodierer ausführlich die Anlage der Untersuchung, die Begründung des Kategoriensystems und die jeweiligen Auswertungsregeln. Dann wertete der Zweitkodierer zumindest ausschnitthaft das vereinbarte Material aus. Die beiden Inhaltsanalytiker kommen nun zusammen, vergleichen ihre Kodierungen und geben bei Abweichungen eine Begründung. Nur wenn der Zweitkodierer den Erstkodierer überzeugen kann, dass eine Auswertung nicht dem Material, oder den Regeln entsprechend vorgenommen wurde, wird dies als Nichtübereinstimmung gewertet [...]. Wenn allerdings die abweichende Auswertung durch den Zweitkodierer durch mangelnde Einsicht in das Material oder Regel zustande kam, wird dies nicht berücksichtigt.“*

(Mayring 2008, S. 13)

Die Übereinstimmungen werden zum einen als prozentuale Übereinstimmungen und zum anderen durch den Cohens Kappa-Koeffizient  $\kappa$  dargestellt. Die tatsächliche Beobachterübereinstimmung wird durch die prozentuale Übereinstimmung überschätzt, da auch zufällige Übereinstimmungen in den Wert eingehen. Diese werden bei der Berechnung des Cohens Kappa explizit berücksichtigt (Döring und Bortz 2016).

$$\kappa = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e}$$

$p_0$ : Anteil tatsächlich beobachteter Übereinstimmungen

$p_e$ : Anteil zufälliger Übereinstimmungen

Durch die interpretativen Bestandteile von qualitativ orientierten Arbeiten ist eine völlige Übereinstimmung nie zu erwarten (Mayring 2008). Wenn man den Angaben von Döring und Bortz (2016, S. 347) folgt, wonach Kappa-Werte über .75 als sehr gut und Werte zwischen .60 und .75 als gut eingestuft werden, kann die Interraterreliabilität für die verwendeten insgesamt sechs Kategoriensysteme als gut bis sehr gut bezeichnet werden (s. Tabelle 28)

Tabelle 28 Interraterreliabilität zur Zweitcodierung von einem Sechstel des gesamten Datenmaterials aller Design-Experimente

Design-Experiment	Fall	Interraterübereinstimmung	
		in %	Cohens Kappa ( $\kappa$ )
<b>Prätest</b>	Paula	80	<b>.79</b>
	Tobias	83,48	<b>.86</b>
	Alia	84,44	<b>.84</b>
	Yasmin	80,7	<b>.80</b>
	Yunus	82,54	<b>.82</b>
	Katharina	76,36	<b>.76</b>
<b>Concept Map</b>	Amar / Marina / Clara	78,21	<b>.73</b>
	Christina / Moritz	94,42	<b>.94</b>
	Celine / Luisa / Franziska	79,02	<b>.77</b>
<b>Dekonstruktion</b>	Amar / Luisa / Christina	96,97	<b>.96</b>
	Marina / Celine / Franziska	77,61	<b>.74</b>
	Moritz / Clara / Kira	66,67	<b>.62</b>
<b>Sachanalyse</b>	Moritz	83,3	<b>.82</b>
	Franziska	76,2	<b>.75</b>
	Christina	82,5	<b>.82</b>
	Luisa	85,7	<b>.85</b>
	Kira	87,9	<b>.87</b>
	Clara	86,8	<b>.86</b>
<b>Lerntext</b>	Amar	86,7	<b>.86</b>
	Franziska	85,7	<b>.85</b>
	Christina	88,9	<b>.88</b>
	Celine	85,7	<b>.85</b>
	Kira	78	<b>.77</b>
	Clara	85,7	<b>.85</b>
<b>Laut-Denken-Studie (Posttest)</b>	Paula	74,36	<b>.74</b>
	Tobias	83,67	<b>.83</b>
	Alia	79,09	<b>.79</b>
	Katharina	88,37	<b>.88</b>
	Yunus	78,72	<b>.78</b>
	Yasmin	76,64	<b>.76</b>

#### 14.4 Kategorienbasierte Auswertung und Ergebnisdarstellung

Die Ergebnisdarstellung erfolgt durch verschiedene Formen, die schrittweise zu einem höheren Präzisionsgrad führen. Zunächst wurden für die ausgewählten Einzelfälle zur Darstellung der Entwicklung von fachlichen Konzepten (Vorstellungen) abgewandelte Profilmatrizes nach Kuckartz (2010, S. 73–74) erstellt. In dieser werden die zuvor (im Zuge der Codierung) kategorisierten Aussagen bestimmten fachlichen Konzepten zugeordnet. Diese Äußerungen werden expliziert, das heißt, dass die Charakteristika des Verständnisses bezüglich eines Konzepts im Sinne eines interpretativen Schrittes herausgearbeitet werden (Gropengießer 2008). Durch die Dynamik der gesamten Lehrveranstaltung kann jedoch nicht

garantiert werden, dass sich alle Teilnehmenden gleichermaßen in jeder Lerngelegenheit zu den gleichen Konzepten äußern. Daher ist es möglich, dass innerhalb der Profilmatrix auch leere Zellen auftauchen.

Tabelle 29 Prototypische Profilmatrix (verändert nach Kuckartz 2010, S. 73-74)

Person A	Lerngelegenheit A	Lerngelegenheit B	Lerngelegenheit C	[...]
Konzept 1	Explikation Zitat I „Zitat I“ Explikation Zitat II „Zitat II“ [...]	[...]	[...]	[...]
Konzept 2	[...]	[...]	[...]	[...]
Konzept 3	[...]	[...]	[...]	[...]
[...]	[...]	[...]	[...]	[...]

Da die Erstellung der Profilmatrix nur ein Zwischenschritt zur Systematisierung, Präzisierung und zur Ergebnisdarstellung ist, wird hier auf die Darstellung der einzelnen Matrizes für die Einzelfälle verzichtet.

Aufbauend auf die Profilmatrizes wurden abstrahierende Lernpfade entwickelt, welche die Entwicklung von bestimmten, von den Studierenden aufgegriffenen fachlichen Konzepten, über die Lehrveranstaltung hinweg aufzeigen. Nach Petri (2014) visualisiert ein Lernpfad die Veränderung, bzw. die Konstruktion von Konzepten in einer zeitlichen Dimension. Lernpfade können als individuelle stroboskopartige Abfolge von Zwischenschritten im Lernprozess betrachtet werden (Niedderer et al. 1992). Dabei kann innerhalb der Interpretation nur von einer Änderung bezüglich der Konzepte, bzw. Vorstellungen gesprochen werden, wenn in einer Lerngelegenheit oder zu einem Messzeitpunkt zuvor eine Vorstellung beschrieben wurde, die der nun geäußerten Vorstellung in bestimmten Punkten widerspricht. Hier muss allerdings klar sein, dass die eigentlichen Konstruktionsprozesse zu einem Konzept als reine Denkprozesse häufig im Verborgenen bleiben, da sie in kommunikativen Situationen nur in Ausnahmefällen artikuliert werden. Es sind weiterhin auch Äußerungen zu Erweiterungen der Vorstellungen beobachtbar, indem von den Studierenden zusätzliche Aspekte bezüglich eines Konzepts genannt werden, die der zuvor geäußerten Vorstellung allerdings nicht widersprechen.

Durch diese Lernpfade ist es möglich, einen differenzierten Eindruck darüber zu erhalten, inwiefern es den Studierenden gelingt, *erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext* bezüglich der Facette *Konzepte und ihre Anwendung im jeweiligen Fach* einzusetzen. Obgleich Konzepte nach Gropengießer et al. (2010) in Aussageform formuliert sein sollen, werden sie innerhalb des Lernpfades (der Darstellung halber) größtenteils durch Begriffe dargestellt.

Die allgemeine Darstellung des Lernpfades wurde in Anlehnung an Hiller (2017) entwickelt (s. Abbildung 32). Dabei ist es von großer Wichtigkeit sowohl auf Hürden im Lernprozess als auch auf Schlüsselstellen (d.h. Veränderungen von Vorstellungen in fachlich angemessenere Formen) zu fokussieren. Daraus lassen sich Implikationen für das Design des Lehr-Lernarrangements interpretativ ableiten. Die Spalten im Hintergrund der Abbildung stellen das jeweilige Design-Experiment dar, in dem die Konzepte geäußert wurde. Die Konzepte, die zum Zeitpunkt des Prä- und Posttests aufgeführt sind, ergeben sich aus dem Testinstrument und die jeweils geäußerten Konzepte zur Lösung der Aufgabe.

Die geäußerten Konzepte innerhalb der Design-Experimente zur kooperativen Erstellung einer Concept Map, zur Dekonstruktion und Rekonstruktion schulischer Materialien sind hingegen weniger durch die Instruktion determiniert und wurden in weitgehend eigenständiger Konstruktion expliziert. Von daher ist auch die direkte Vergleichbarkeit von geäußerten Studierendenkonzepten stark eingeschränkt, da sich nicht zu allen fachlichen Sachverhalten gleichermaßen geäußert wurde.

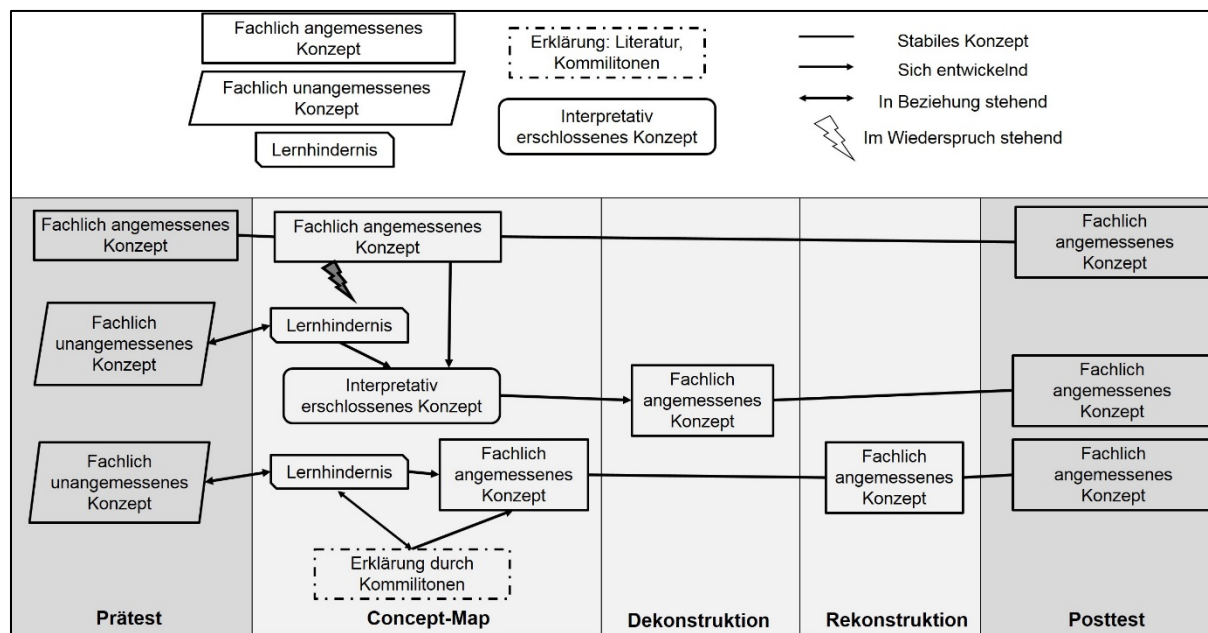


Abbildung 32 Prototypischer Lernpfad zur Darstellung von Konzepten und ihren Entwicklungen (in Anlehnung an Hiller 2017)

Zur Bestimmung der Anwendung des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext im Rahmen der Facette Wissen, um sinnvoll und vorausschauend reduzieren, wurden fallbezogene Zusammenfassungen erstellt. Diese Zusammenfassungen beziehen sich auf Wahrnehmung der Lerngelegenheiten zur Dekonstruktion und Rekonstruktion von schulischen Materialien (s. Kapitel 14.2.4).

## 14.5 Stichprobenbeschreibung

Alle Studierenden, deren Daten im Folgenden aufgeführt sind, haben zu Beginn der Lehrveranstaltung der Studienteilnahme und den Teilnahmebedingungen schriftlich zugestimmt. Die Teilnehmenden wurden informiert, dass die gewonnenen Daten, pseudonymisiert ausgewertet und ausschließlich zu Forschungszwecken verwendet werden. Für die Teilnahme an der Studie (inkl. Laut-Denken-Studie) wurde den Studierenden eine Aufwandsentschädigung in Höhe von 50 € gewährt.

Innerhalb dieser Stichprobenbeschreibung wird neben allgemeinen Informationen vor allem auf fallübergreifende Ergebnisse bezüglich der nichtkognitiven Aspekte, die im Prätest erfragt wurden, fokussiert. Wie bereits in Kapitel 14.2.1 beschrieben, wurden im Prätest Angaben zu Einstellungen und Interesse erfragt. Den angegebenen Merkmalsausprägungen innerhalb der verwendeten Likert-Skalen wurden im Zuge der Datenaufbereitung Zahlenwerte zugeordnet (z.B. trifft nicht zu = 1, trifft eher nicht zu = 2,



trifft eher zu = 3, trifft zu = 4). Die quantitative Auswertung erfolgt durch die statistischen Kennwerte des arithmetischen Mittels ( $M$ )<sup>19</sup> und der Standardabweichung ( $SD$ )<sup>20</sup>.

Die Stichprobe, summiert aus den Teilnehmenden aller drei Zyklen, setzt sich aus insgesamt 29 Studierenden zusammen<sup>21</sup>. Sie sind durchschnittlich 21,1 Jahre alt ( $SD = 1,4$  Jahre). Von den Probanden sind sechs männlich und 23 weiblich. Die Abiturnote liegt im Durchschnitt bei 1,7 ( $SD = 0,3$ ). Sie befinden sich durchschnittlich im Fachsemester 4,8 ( $SD = 1,39$  FS) in der Biologie und Hochschulsemester 5,3 ( $SD = 1,8$  HS). Alle Probanden befinden sich im Bachelorstudium des Lehramts für die Sekundarstufen I und II mit dem Fach Biologie. Ein Großteil der Studierenden (69 %) studiert Biologie als Erstfach. Fast alle haben die Vorlesung Zellbiologie innerhalb des Moduls *Molekulare und zelluläre Biologie* im letzten, bzw. vorletzten Semester vor der hier untersuchten Lehrveranstaltung besucht. Nur vereinzelte Studierende haben das Modul vor längerer Zeit belegt. Die Angaben zu den Modulnoten im Modul *Molekulare und zelluläre Biologie* reichen von 1,0 bis 4,0. Im Durchschnitt geben die Studierenden eine Modulnote von 2,9 ( $SD = 1,1$ ) an<sup>22</sup>. Dies entspricht auf Nachfrage bei dem für das Modul verantwortlichen Dozenten in etwa dem Durchschnitt der Noten für Lehramtsstudierende im Modul. Dabei variieren die Mittelwerte der Modulnoten für die einzelnen Kohorten (Studienteilnehmende in jeweils einem Zyklus). Im Mittel liegen die Noten für den Zyklus 1 bei 2,6, im Zyklus 2 bei 3,2 und im Zyklus 3 bei 3,4. Auf Nachfrage beim verantwortlichen Dozenten konnte in den letzten Semestern auch in den gesamten Jahrgängen, das heißt nicht nur Lehramtsstudierende betreffend, ein Leistungseinbruch festgestellt werden.

---

<sup>19</sup> Zur Berechnung des arithmetischen Mittels ( $M$ ) wird die Merkmalssumme der jeweiligen Ausprägungen ( $x_1+x_2+x_3+\dots+x_n$ ) durch die Anzahl der Merkmalsträger ( $n$ ) dividiert.

<sup>20</sup> Die Standardabweichung stellt das gebräuchlichste Streuungsmaß dar und gibt an wie sehr die Einzelwerte um das arithmetische Mittel streuen. Sie berechnet sich aus der Wurzel der empirischen Varianz.

<sup>21</sup> Insgesamt nahmen 32 Studierende an dem Prätest teil. Drei Studierende wurden allerdings aus dieser Stichprobe entfernt, weil sie an keiner weiteren Lerngelegenheit teilnahmen.

<sup>22</sup> Hierbei ist zu vermerken, dass nicht alle Studierenden in diesem Feld Angaben machten. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei einigen Studierenden, wegen nicht-bestehens in ersten oder zweiten Versuch die Prüfung im darauffolgenden Semester noch ausstand. Ein weiterer Grund war (auf Nachfrage), dass sich in der Situation des Prätest nicht mehr an die Note erinnert wurde.

# Ergebnisse

## 15 Fallübergreifende Analysen

### 15.1 Subjektiver Professionalisierungsbegriff

Innerhalb des Prätests wurde u.a. eine Itemauswahl zum subjektiven Professionalisierungsbegriff nach Hoppe-Graff & Flagmeyer (2008) eingesetzt. Die Studierenden sollten darin auf einer fünf-stufigen Likert-Skala ihre Zustimmung oder Ablehnung gegenüber Aussagen zur Professionalisierung von Lehrkräften verdeutlichen. Hierbei ist zu betonen, dass die Einzelitems keine Skala bilden. Es können zwar theoretisch vier Faktoren (Einfluss des Studiums, Einfluss von Vorbildern, Einfluss von Praxiserfahrung, Einfluss von Persönlichkeit) extrahiert werden, die Items korrelieren innerhalb eines Faktors jedoch kaum (Faktorenanalyse s. Kauper et al. 2012).

Im Ergebnis geben die Studierenden an, vorzugsweise durch praktische Erfahrungen und durch Erfolge und Misserfolge im eigenen Unterricht zu einer guten Lehrperson zu werden (s. Tabelle 30). Am wenigsten hingegen wird der Aussage zugestimmt, dass man zu einer guten Lehrperson geboren wird. Weiterhin wird auch der Aussage, dass man durch das Hochschulstudium zu einer guten Lehrperson wird, vergleichsweise wenig zugestimmt. Auch die Aussage, dass ein hohes Fachwissen in den Studienfächern eine gute Lehrkraft ausmacht, erfährt vergleichsweise weniger Zustimmung als die Aussagen, die sich auf die Praxiserfahrung beziehen.

Tabelle 30 Ergebnisse zum subjektiven Professionalisierungsbegriff (n=29)

Itemwortlaut:	Absolute Zahlen/ Prozent					M	SD
	trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	teils/teils	trifft eher zu	trifft völlig zu		
Ich denke, zu einer guten Lehrperson wird man...							
... durch das Hochschulstudium	1/3,4	3/10,3	16/55,2	9/31,0	0/0,0	3,14	0,84
... durch praktische Erfahrung	0/0,0	0/0,0	0/0,0	7/24,1	22/75,9	4,76	0,86
...geboren	3/10,3	10/34,5	15/51,7	1/3,4	0/0,0	2,48	0,46
...indem man aus Erfolgen und Misserfolgen im eigenen Unterricht lernt	0/0,0	1/3,4	0/0,0	9/31,0	19/65,5	4,59	0,91
...indem man sich an Vorbildern aus der eigenen Schulzeit orientiert	0/0,0	2/6,9	9/31,0	14/48,8	4/13,8	3,69	0,84
...indem man sich an Fachlehrern im hospitierten Unterricht orientiert	0/0,0	1/3,4	13/44,8	14/48,8	1/3,4	3,52	0,84
...indem man ein sehr hohes Fachwissen in seinen Fächern hat	0/0,0	3/10,3	10/34,5	12/41,4	4/13,8	3,59	0,63

## 15.2 Einstellungen zum Lehramtsstudium

Die Einstellung zum gemeinsamen Fachstudium mit Nicht-Lehramtsstudierenden wurde über ein offenes Item erfragt („Bitte vervollständigen Sie den Satz: Dass ich mit Fachstudierenden gemeinsam studiere, bedeutet für mich...“). Im Folgenden werden die Antworttendenzen zusammengefasst und Beispiele gegeben.

Das gemeinsame Fachstudium mit u.a. Studierenden der Biowissenschaften und Ernährungswissenschaften wird auf vielfältige Weise sowohl positiv als auch negativ wahrgenommen. Als positiv wird die Chance für einen wechselseitigen Austausch betrachtet.

Amar (3)<sup>23</sup>: „... Dass ich Ansprechpartner und Freunde habe, die mich und die ich unterstütze.“

Moritz (3): „... dass der Informationsaustausch sehr einfach erfolgt und man immer Hilfe bekommt bzw. helfen kann“

Das gemeinsame Fachstudium wird aber auch als ein Grund für das wahrgenommene hohe Niveau betrachtet. Allerdings wird dieses hohe Niveau von einigen Studierenden auch als Chance betrachtet, ein hohes Fachwissen zu erwerben.

Alia (2): „... mehr Anstrengung, aber gleichzeitig auch mehr Wissen“

Yasmin (2): „... dass ich Fachwissen weit über den „normalen“ Kompetenzbereich eines Biologiekurses erwerbe.“

Annika (1): „...Mehr Fachwissen, weit über für die Schule relevantes hinaus zu lernen, ein tieferes Verständnis für die Materie zu haben, um den Lernenden später weit voraus zu sein.“

Andererseits werden eine unzureichende Differenzierung, ein fehlender Praxisbezug und unnützes Wissen beklagt:

Yasmin (2): „In den Fachvorlesungen wird nicht zwischen Fachstudierenden, die dieses Themengebiet vertieft studieren, und Lehrrämtlern unterschieden. Es gibt keine Differenzierung in der Menge und Tiefe des zu lernenden Stoffes.“

Katharina (2): „... dass ich manchmal das Gefühl habe auf erhöhtem Niveaus Leistung erbringen zu müssen und das ich primär fachwissenschaftlich in Bio ausgebildet werde und nicht didaktisch“

Yunus (2): „... dass die Dozenten die gleichen Anforderungen stellen, obwohl ich den Großteil des Stoffes nie wieder brauche.“

Diese von den Studierenden als unzureichend wahrgenommene Differenzierung wird in einigen Fällen auch als Ungerechtigkeit wahrgenommen, die sich besonders im Prüfungsumfang widerspiegelt:

Katharina (2): „Lehrrämtler haben drei Fächer, sind nicht so intensiv in der Thematik wie Fachwissenschaftler, aber trotzdem hohes Niveau“

Franziska (3): „Oftmals gleiche Veranstaltungen für weniger LP und/oder weniger vertiefende Seminare, obwohl ich am Ende gleiche Leistungen bringen muss.“

---

<sup>23</sup> Die angegebenen Namen sind Pseudonyme. Die Zahl in den Klammern stellt den jeweiligen Zyklus der Lehrveranstaltung dar, an dem die Studierenden teilgenommen haben.

### 15.3 Einschätzungen zum Fachwissen

Die Einschätzungen zum eigenen biologischen Fachwissen dienen dazu, einen Überblick über das fachliche Selbstkonzept der Studierenden gewinnen. Dabei wurde in einem Item zum Selbstkonzept bezüglich des biologischen Fachwissens ein Vergleich mit den Mitstudierenden angestrebt. In Bezug auf das zellbiologische Fachwissen wurde ein Vergleich mit dem Wissen über andere Fachgebiete der Biologie, wie Botanik, Genetik, Ökologie, etc. gefordert.

Das eigene biologische Fachwissen wird von einer Mehrzahl der Studierenden als gleich zu dem ihrer Mitstudierenden eingeschätzt (s. Abbildung 33).

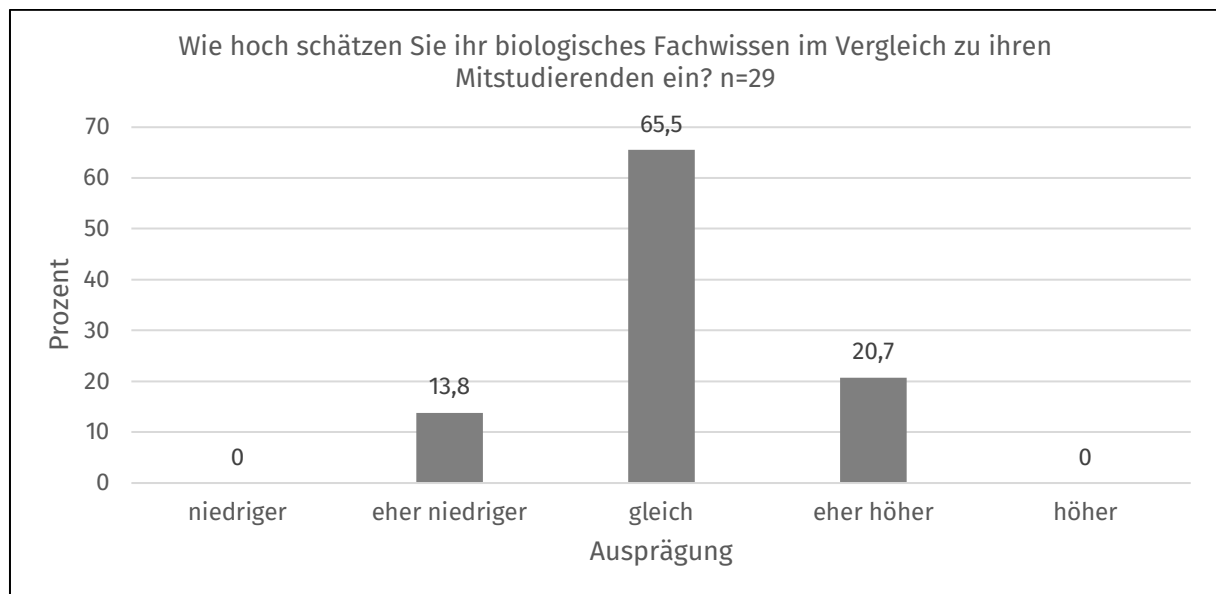


Abbildung 33 Einschätzungen zum eigenen biologischen Fachwissen im Vergleich zu den Mitstudierenden

Das zellbiologische Fachwissen wurde im Vergleich zum Fachwissen in anderen Wissensgebieten der Biologie als tendenziell eher niedriger eingeschätzt (s. Abbildung 34).

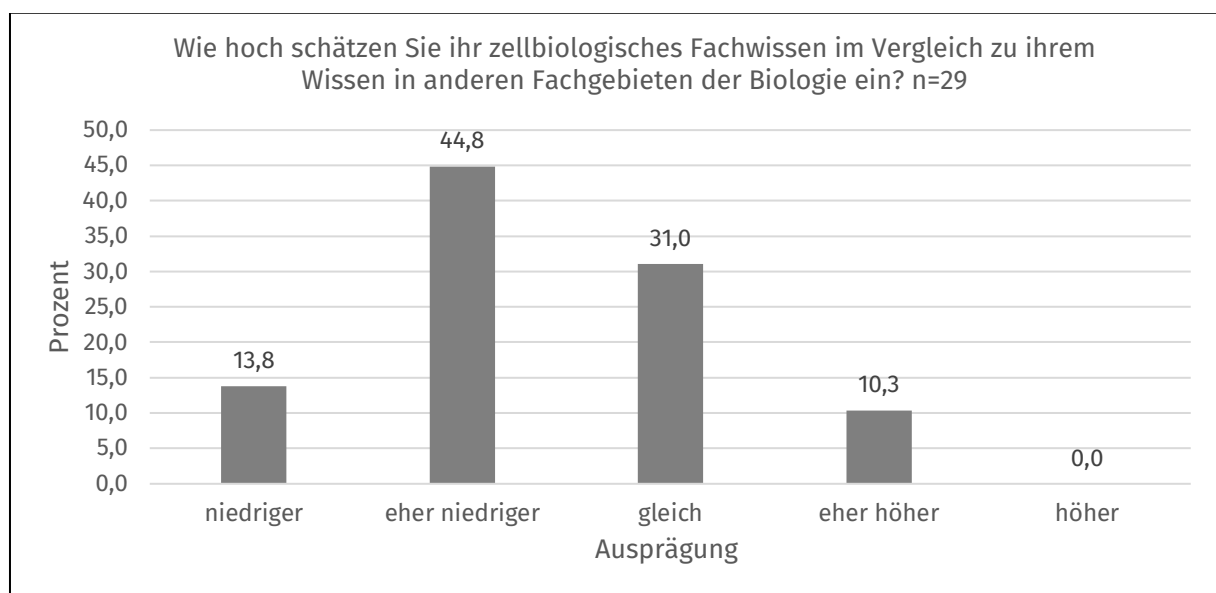


Abbildung 34 Einschätzungen zum zellbiologischen Fachwissen im Vergleich zu anderen Fachgebieten der Biologie

Im Hinblick auf das Interesse an vermittelter Biologie und Zellbiologie an Schule und Hochschule lassen sich ebenfalls Vergleiche ziehen. Erfragt wurden dabei sowohl emotionale (zwei Items), wertebezogene (ein Item), als auch kognitive Valenzen (zwei Items) des Interessenskonstrukts (s. Kapitel 5.3).

Das Interesse für biologische Inhalte im Hochschulstudium wurde mit fünf Likert-skalierten Items erhoben (1 = stimme nicht zu bis 4 = stimme zu; Beispielitem: "Wenn ich bezüglich Biologie etwas Neues dazulernen kann, bin ich bereit auch meine Freizeit dafür zu verwenden").

Die Skala wurde für die COACTIV R-Studie (Löwen et al. 2011) entwickelt und von Loch (2015) hinsichtlich der Mathematik adaptiert. Die interne Konsistenz der Skala liegt mit einem Cronbach's  $\alpha = .77$  im zufriedenstellenden bis guten Bereich.

Die gleiche Skala wurde zur Erfassung des Interesses für Biologieinhalte in der Schule genutzt. Der einzige Unterschied war die Instruktion „Biologie, die Sie in der Schulzeit kennengelernt haben“ (im Gegensatz zu „Biologie, die Sie an der Universität kennengelernt haben“ in der Skala zuvor). Hier lag die Reliabilität der Skala mit  $\alpha = .86$  im guten bis sehr guten Bereich.

Ergebnisse des t-Tests für verbundene Stichproben zeigten, dass die Studierenden ihr Interesse für Biologieinhalte aus der Schule signifikant höher einschätzten als für Biologieinhalte aus dem Studium ( $\text{Diff}_M = 0.24$ ,  $p = .019$ ). Mit einer Effektstärke von  $d = 0.45$  fällt dieser Unterschied zudem hoch aus (s. Tabelle 31).

Tabelle 31 Ergebnisse zum Fachinteresse Biologie in Schule und Universität ( $n=29$ )

<b>Fachinteresse - Skalen mit je fünf Items (4 -stufig)</b> (adaptiert nach Loch 2015 und Löwen et al. 2011)		
<b>Interesse an...</b>	<b>Mean</b>	<b>SD</b>
... <b>Biologie in der Universität</b>	2,87	0,51
... <b>Biologie an der Schule</b>	3,14	0,5

Weiterhin wurde auch mit zwei Items das Fachinteresse bezüglich der vermittelten zellbiologischen Inhalte in Schule und Universität erhoben. Erfragt wurden emotionale und wertebezogene Valenzen (s. Abbildung 35 und 36)

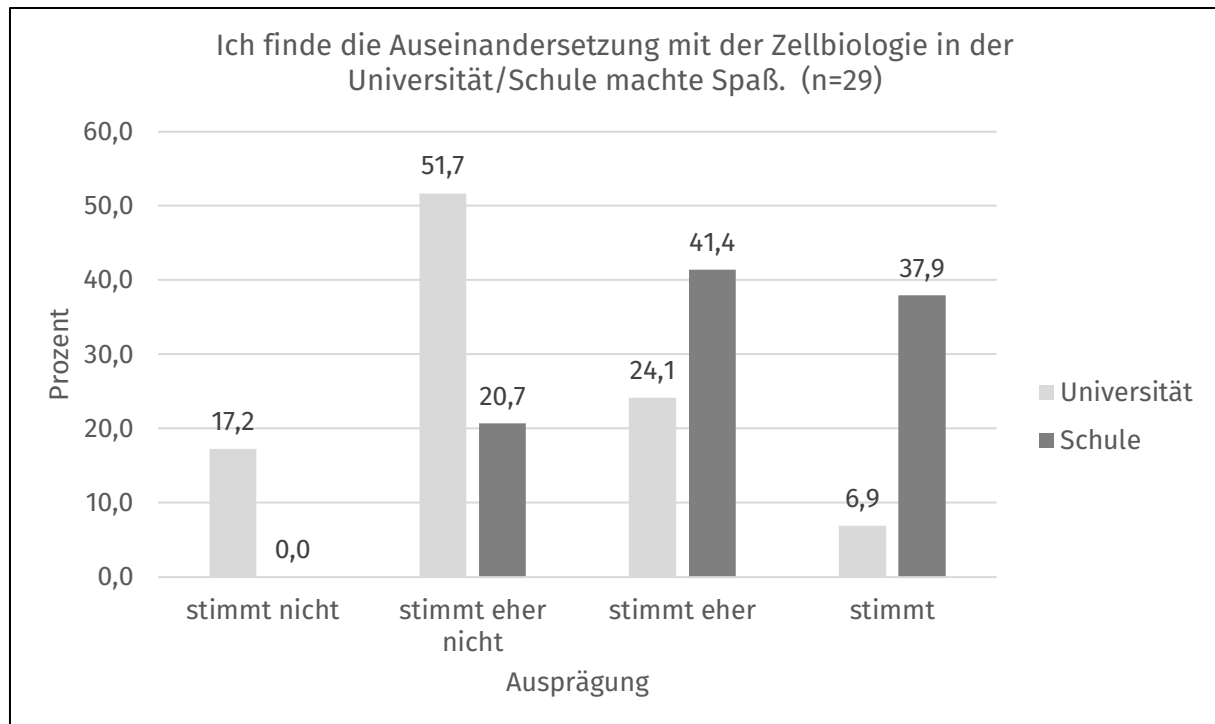


Abbildung 35 Interesse an Zellbiologie, die in der Schule und in der Universität vermittelt wird (emotional)

Hinsichtlich der wertbezogenen Valenz des Interesses für Zellbiologie zeigen sich innerhalb dieser Stichprobe kaum Unterschiede für universitäre oder schulische Vermittlung von Zellbiologie.

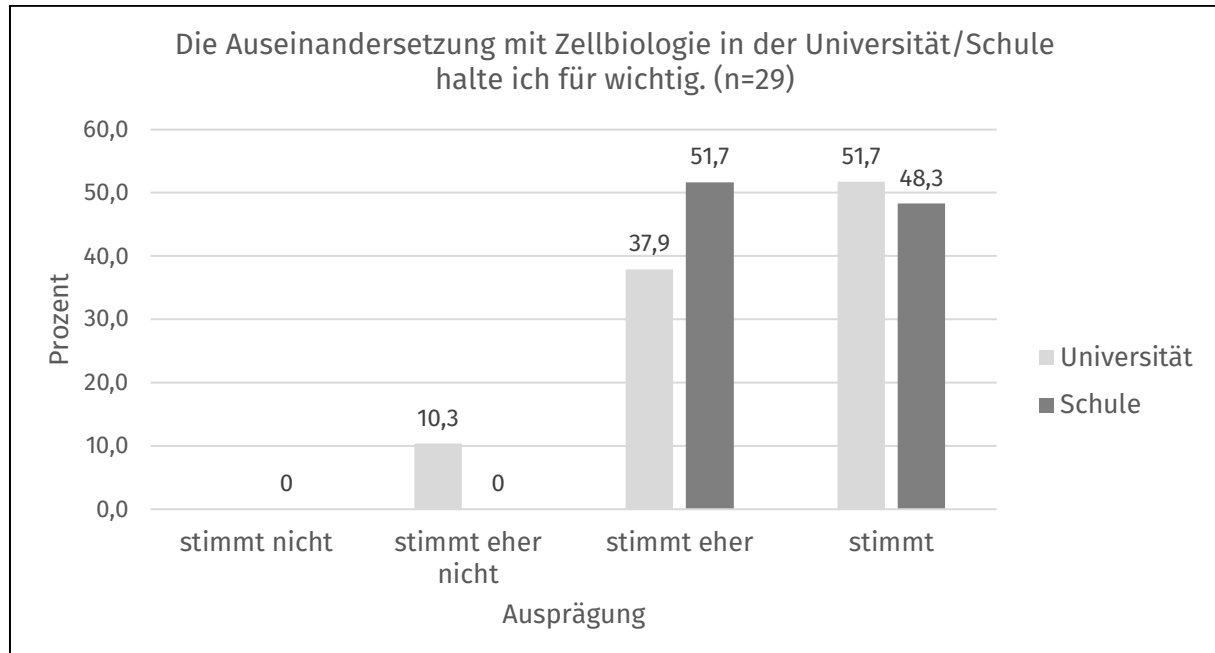


Abbildung 36 Interesse an Zellbiologie, die in der Schule und in der Universität vermittelt wird (wertebezogen)

Darüber hinaus wird auch eine Einschätzung der Studierenden über ihr eigenes zellbiologisches Fachwissen gefordert. Aus dieser Einschätzung geht hervor, dass die Studierenden ihr Schulwissen auf Abiturniveau bezüglich zellbiologischer Inhalte deutlich höher einschätzen als ihr klausurrelevantes universitäres Wissen. Nahezu alle Befragten schätzen ihr schulisches zellbiologisches Wissen als angemessen, eher hoch oder sehr hoch

ein. Ihr klausurrelevantes universitäres Fachwissen schätzen sie hingegen mehrheitlich als angemessen, eher niedrig und sehr niedrig ein (s. Abbildung 37).

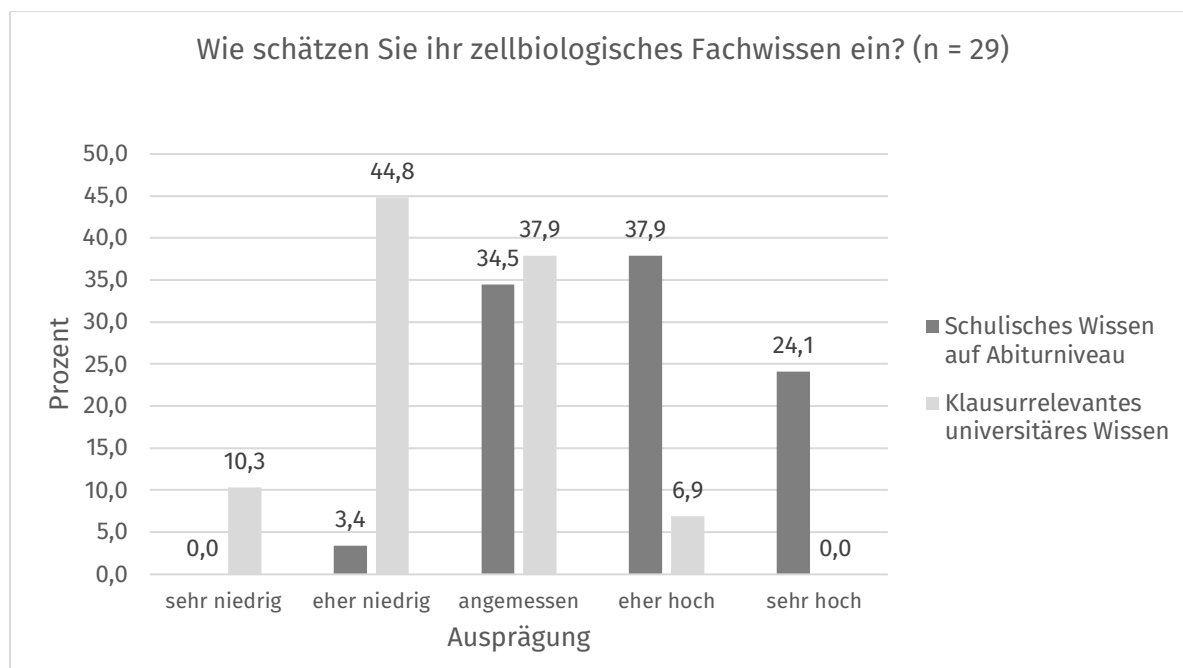


Abbildung 37 Einschätzungen zum eigenen schulbezogen und universitären zellbiologischen Fachwissen.

Der Zeitaufwand für die regelmäßige Vor- und Nachbereitung der Vorlesung Zellbiologie belief sich im Mittel bei den Studierenden auf  $M = 1,33$  h pro Woche ( $SD = 1,37$  h), die starke Streuung kommt dadurch zustande, dass neun Studierende angaben, die Vorlesung nicht vor- und nachbereitet zu haben. Weiterhin gaben sie an, sich im Mittel über  $M = 5,64$  Arbeitstage ( $SD = 3,08$  Tage) auf die Klausur in der Zellbiologie vorbereitet zu haben.

## 15.4 Wahrgenommene Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens

Die Ansichten dazu, wie relevant das universitär vermittelte Fachwissen in der Biologie für die Ausübung des späteren Berufs ist, sind sehr unterschiedlich. Dabei wird sich von einem Großteil der Fälle eher differenzierend als polarisierend geäußert. Der Wortlaut der offenen Frage im Fragebogen lautete: „Wie schätzen Sie die Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens für die Ausübung ihres späteren Berufs ein?“ Ein kleinerer Anteil der befragten Studierenden misst den universitär vermittelten Fachinhalten eine ausschließlich hohe Relevanz bei ( $n = 7$ ). Als Begründungen werden u.a. die fachliche Sicherheit und die verbesserten Möglichkeiten auf tiefergehenden Schülerfragen eingehen zu können, benannt. Auch die verkürzte Zeit, die zur fachlichen Unterrichtsvorbereitung benötigt wird, sowie ein generell hilfreiches Überblickswissen werden als positive Aspekte des universitär vermittelten Fachwissens von einigen Studierenden beleuchtet.

Lena (1): *Sehr hoch, da die fachliche Sicherheit das Selbstbewusstsein steigert und die Zeit zum Einarbeiten verkürzt*

Annika (1): *Hoch, da ein tieferes Verständnis für das Fach wichtig ist, um auch über den Stoff hinausgehende Fragen von Schüler\*innen beantworten zu können und der Klasse immer voraus zu sein.*

Michelle (1): *Ich denke, dass das universitäre Fachwissen sehr wichtig ist, um z.B. interessierten Schülern mehr als Schulwissen erklären zu können und Überblicke, sowie Schwerpunkte im Rahmenlehrplan zu erkennen.*

Von einem Großteil der Studierenden (n = 15) werden die universitär vermittelten Inhalte im Allgemeinen, als relevant oder teilweise relevant eingeschätzt. Diese wahrgenommene Relevanz wird allerdings relativiert. Als Begründung wird häufig ein fehlender Anwendungsbezug in der Schule geäußert. Dieser komme dadurch zustande, dass der universitär vermittelte Stoff größtenteils nicht in der Schule vermittelt werde. Durch eine fehlende Anwendung würden die universitär vermittelten Inhalte zudem in Vergessenheit geraten. Weiterhin wird geäußert, dass die fachlichen Inhalte in der Universität zu tiefgreifend und zu detailreich sein. Als Ursache wird von einigen Studierenden auf eine fehlende Differenzierung und Bedürfnisorientierung hinsichtlich der Lehramtsstudierenden hingewiesen.

Daria (1): *Ich glaube, dass viel Fachwissen später kaum noch eine Rolle im RLP spielen wird. Dennoch fühle ich mich persönlich durch ein ausgeprägtes Fachwissen kompetenter und selbstsicherer, was im Lehrerberuf hilfreich sein wird.*

Vanessa (1): *Ich empfinde das universitär vermittelte Fachwissen wichtig für meine spätere Ausübung als Lehrerin. Dennoch werden „unrelevante“ Themen sehr häufig mit eingebracht, sprich es wird zu sehr in die Materie eingetaucht*

Yasmin (3): *Ich denke, es ist wichtig, dass zukünftige Lehrer ein fundiertes Fachwissen in ihrem Fach aufweisen. Es sollte immer über den Stoff hinausgehen, der Schülern vermittelt wird. Allerdings wäre es gut, wenn dabei noch gezielter auf die späteren Anforderungen im Lehrerberuf eingegangen wird.*

Amar (3): *Vieles vom universitären Wissen ist zwar wichtig und informativ, geht aber oft über das benötigte Wissen eines Lehrers hinaus. Viele Dinge können SchülerInnen einfach noch nicht nachvollziehen, da ihnen das Vorwissen aus anderen Bereichen fehlt. Einiges von dem Wissen ist einfach zu viel - besonders angesichts des zweiten Studienfachs.*

Von einigen Studierenden (n = 7) wird auch ausschließlich eine eher niedrig wahrgenommene Relevanz hervorgehoben. Häufig wird dies mit Inhalten, die nicht in der Schule vermittelt werden, begründet. Dabei wird sowohl eine zu große inhaltliche Tiefe als auch der Anteil an Details als Begründung für wahrgenommen Irrelevanz mit eingebracht:

Tobias (2): *Viel Überflüssiges dabei gewesen. Schulstoff wird meist in den ersten zwei Vorlesungen abgehandelt, obwohl gerade dieser für uns relevant wäre. Möglicher Konflikt mit Fachstudierenden!*

Philipp (1): *Eher gering. Die Ausführung der Kurse ist für mich zwar sehr interessant gewesen, jedoch bin ich der Auffassung, dass ich kaum Einzelheiten später gebrauchen werde.*

Anna (1): *Nicht sehr relevant. Es ist alles eher Aufbauwissen, kaum etwas, was man den Schülern/Schülerinnen später wirklich beibringen soll und muss.*

Celine (3): *Nur in Teilen relevant, da das Fachwissen zum Teil viel zu tiefgreifend ist, um jemals beim Unterrichten nützlich zu sein.*

In Bezug auf den Detaillierungsgrad der fachlichen Studieninhalte wird prognostiziert, dass eine fehlende Anwendung des Wissens im Schulbereich zum Vergessen dieser Inhalte führt.

Luisa (3): *[...] Jedoch werden zahlreiche Inhalte nicht wiederholt, was zu der Tatsache führt, dass sie vergessen werden.*

In einer folgenden Frage wurden die Studierenden auch nach ihren Vorschlägen befragt, was in den fachwissenschaftlichen Studienanteilen gekürzt, bzw. ergänzt werden sollte, damit sich das von ihnen als wichtig betrachtete Fachwissen bestmöglich entwickeln kann.



In ihren Antworten vertraten viele Studierende die Ansicht, dass vor allem die inhaltliche Tiefe, die Details oder auch der allgemeine fachliche Umfang reduziert werden sollte. Die Antworten bleiben dabei häufig sehr unkonkret.

Paula (2): *Der Umfang an detailliertem fachlichem Stoff*

Luisa (3): *Der fachliche Umfang; z.T. zu kleinschrittig*

Zum Teil nennen die Studierenden allerdings auch konkrete biologische Themenbereiche, die sie (zum jetzigen Zeitpunkt ihres Studiums) überproportional vertreten sehen. Hier werden vor allem die Systematiken (acht Nennungen) benannt, Biochemie (sieben Nennungen), Physik (vier Nennungen) und anorganische Chemie (zwei Nennungen).

Tobias (2): *Überproportionales Fachwissen (alle Protozoaarten und ihre Untergruppen aufsagen zu können, scheint für das Lehramt unwichtig)*

Amar (3): *Details im Modul „Zellbiologie und Biochemie“ sowie „Physiologie“; Bsp.: Transportmoleküle der angeregten Elektronen in den Transportketten der Photosynthese; Biochemische Prozessen en detail.*

Samira (1): *Spezielle Zoologie und die Ausführlichkeit von Biochemie, Pflanzenphysiologie*

Bezüglich der *Ergänzung* von Inhalten beziehen sich die Antworten der Studierenden (obwohl in der Fragestellung gefordert) selten auf konkrete fachliche Inhalte (von zwei Studierenden wird die verstärkte Auseinandersetzung mit Themen der Humanbiologie, Genetik oder Artbestimmung genannt). Stattdessen werden eher stärkere Praxisbezüge im Hinblick auf den späteren Arbeitsbereich des Unterrichts von Fachinhalten gefordert (13 Nennungen). Dabei wurde von den Studierenden vor allem mehr Fachdidaktik, die einerseits Aspekte der Planung und Durchführung von Unterricht betreffen (acht Nennungen), als auch die Aufarbeitung fachlicher Inhalte für den Schulkontext (z.B. Didaktische Reduktion) (sechs Nennungen).

Amar (3): *Praktika! Auch gern mit anderen Studierenden als Beispiel-SuS. Mehr praktische Übungen.*

Vanessa (1): *Aufbereitung universitären Fachwissens (Didaktik im Allgemeinen)*

Claudia (1): *Die Gewinnung eines Gesamtüberblicks und die Übermittlung von Fähigkeiten, wie das Wissen an Schüler vermittelt werden kann ... und das wenn möglich in jedem Fachbereich separat*

Ebenfalls werden auch additive Möglichkeiten vorgeschlagen, das durch Vorlesungen erworbene Fachwissen zu wiederholen und/oder zu vertiefen (fünf Nennungen).

Franziska (3): *Vertiefende Seminare zu Vorlesungen; Bezüge zur Schule/Unterricht; strukturierte Vermittlung des Fachwissens (in VL)*

Alia (2): *Mehr Seminare; zur Vertiefung + für Übungen zu den VL, z.B. in der Zellbiologie → sehr viel Stoff in den VL, schwer alles alleine nachzuarbeiten + Klären der Fragen*

Auch die verstärkte Auseinandersetzung mit Themen, die in den Augen der Studierenden besonders für das Schulwissen eine hohe Relevanz aufweisen (z.B. Entwicklungs-/Humanbiologie, Naturschutz oder Genetik) werden hier genannt (elf Nennungen).

Moritz (3): *Mehr Unterrichtsbezug → schulrelevante Themen mehr bzw. genauer behandeln*

Lena (1): *Schulrelevante Themen wie Fortpflanzung, Berufsorientierung, Umweltschutz, „Experimentelle“ Biologie*

Es wird sich jedoch auch auf eine stärkere zielgruppenspezifische Differenzierung z.T. in Form von abschlussbezogenen Lehrveranstaltungen (vornehmlich Vorlesungen) bezogen (vier Nennungen).

*Tobias (2): Eigene Vorlesung für Lehrämter*

*Yasmin (2): Nicht alle Fachstudierenden und Lehrämter in die gleiche Vorlesung setzen, ohne zu differenzieren. [...] Vorlesungen/Seminare in denen Fachwissen auf einem für Lehrer angemessene Niveau gelehrt wird.*

*Clara (3): Die didaktische Herangehensweise + eine spezielle Vorlesung für Lehramtsstudenten*

Für einige Studierende wäre es auch bedeutsam, mehr Labor- oder Geländepraktika für Lehramtsstudierende anzubieten (vier Nennungen).

*Samira (1): Praktische Kurse (Exkursionen)*

*Lukas (1): Mehr Arbeit an und in der Natur*

## 16 Einzelfallanalysen

Im Folgenden werden unter Einbezug aller Datenquellen ausgewählte Einzelfälle (n = 6) und deren Lernprozesse detailliert beschrieben.

Die Probanden für die Einzelfallanalysen wurden im Sinne des *Theoretical Sampling* im Hinblick auf die Untersuchungsziele ausgewählt. Dabei wurde weitestgehend sichergestellt, dass „für die Fragestellung relevante Fälle“ (Kelle und Kluge 2010, S. 43) berücksichtigt werden. Die ausgewählten Studierenden waren jeweils an allen Seminarterminen und zur Folgestudie anwesend. Damit schränkte sich die Zahl der potentiell zu analysierenden Einzelfälle auf 17 ein. Weiterhin werden aus jeder Kohorte (jedem Zyklus) zwei Probanden ausgewählt, die sich bei der Bearbeitung der Lerngelegenheiten in möglichst unterschiedlichen Gruppen aufhielten.

Für die weitere Auswahl ist das geäußerte Vorwissen und das geäußerte Wissen innerhalb der Laut-Denken-Studie (Posttest) von entscheidender Bedeutung. Zur Sicherstellung einer Fallkontrastierung, wurden Fälle ausgewählt, die einerseits ein vergleichsweise niedriges bzw. ein vergleichsweise hohes Vorwissen aufwiesen. In den Einzelfallanalysen steht die Entwicklung fachlicher Konzepte im Mittelpunkt der Betrachtung. Daher sind vor allem Fälle, bei denen eine mittlere bis starke Entwicklung fachlicher Konzepte stattfindet von Interesse. Probanden, die sowohl im Prä- als auch im Posttest ein sehr niedriges Fachwissen und ähnliche fachlich unangemessene Vorstellungen äußerten, werden für die Einzelfallanalysen nicht weiter berücksichtigt. Die Lehrveranstaltung ist darauf ausgelegt, dass die Studierenden sich bei auffällig werdenden Wissenslücken eigeninitiativ verhalten und diese Wissenslücken durch bereitgestellte fachliche Hilfen klären. In dem Falle, dass vor der Lehrveranstaltung und auch danach noch fachlich unangemessene Vorstellungen in großem Maße vorliegen, kann nicht davon ausgegangen werden, dass Wissenslücken ausreichend aufgearbeitet wurden. Inwiefern auch diese kleine Anzahl von Fällen im Lehrveranstaltungsdesign stärkere Berücksichtigung erfährt, ist Teil der Diskussion dieser Arbeit (s. Kapitel 18).

Die Darstellung der Ergebnisse hinsichtlich der Einzelfälle erfolgt chronologisch anhand der Zyklen. Innerhalb eines Einzelfalls werden jeweils beleuchtet:

- die Einstellungen zum Lehramtsstudium und zum Fachwissen,
- die Ergebnisse des Prätests im Vergleich zum Posttest,
- der Lernpfad,
- die Schlüsselstellen im Lernprozess,
- die Hürden im Lernprozess,
- die Anwendung von Wissen, um Konzepte zu identifizieren und um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren (Facetten 1 & 3),
- die Selbsteinschätzungen zum Lernprozess und
- die Bedeutung für die Iteration.

## 16.1 Zyklus 1: Sommersemester 2017

### 16.1.1 Claudia

Alter: 19

Abiturnote: 1,2

Modulnote „Molekulare und zelluläre Biologie“: 1,0

Vorlesung Zellbiologie: im SoSe16

#### *Einstellungen von Claudia zum Lehramtsstudium und zum Fachwissen*

Claudia äußert, dass sie mit den fachwissenschaftlichen Studienanteilen in der Biologie eher zufrieden ist. Sie schätzt ihr eigenes biologisches Fachwissen als etwas höher im Vergleich zu ihren Mitstudierenden ein und liegt damit etwas über dem durchschnittlichen Antwortverhalten der Stichprobe. Ihr zellbiologisches Fachwissen bewertet sie als gleich im Vergleich zu anderen Fachgebieten der Biologie. Ihr schulisches Wissen in der Zellbiologie schätzt sie als eher hoch ein und ihr universitäres zellbiologisches Fachwissen als angemessen. Sie gibt für die Vor- und Nachbereitung der Vorlesung eine wöchentliche Arbeitszeit von ca. 1 h an. Ihren Lernaufwand für die abschließende Klausur gibt sie mit 5 Arbeitstagen an. Mit beiden Aussagen liegt sie etwas unter dem Durchschnitt (Vor- und Nachbereitung in h/Wo  $M = 1,33$ ;  $SD = 1,37$  und Klausurvorbereitung in Arbeitstagen  $M = 5,64$ ;  $SD = 3,08$ ).

Claudias Interesse an der universitär vermittelten Biologie ist im Vergleich zu den Angaben ihrer Mitstudierenden verhältnismäßig hoch (Claudia:  $M = 3,29$ ,  $SD = 0,45$ ; Stichprobe:  $M = 3,71$ ,  $SD = 0,45$ ). Ihr Interesse an Schulbiologie ist sehr hoch ( $M = 3,71$ ,  $SD = 0,45$ ). Dies entspricht auch dem durchschnittlichen Antwortverhalten ihrer Mitstudierenden ( $M = 3,18$ ,  $SD = 0,58$ ).

Insgesamt erkennt Claudia die Bedeutung eines hohen Fachwissens für die Ausübung ihres späteren Berufs an. Allerdings wünscht sie sich einen verstärkten Bezug auf die Vermittlung des Schulwissens und hält dies für bedeutsamer als ein hohes Fachwissen.

*Claudia: „Es ist sicherlich von Vorteil ein höheres Fachwissen als das des Abiturwissens zu beherrschen, allerdings würde ich mir einen höheren Fokus auf die Art und Weise der Vermittlung des Schulwissens wünschen“*

(Prätest\_SoSe2017\_Claudia: 14 - 14)<sup>24</sup>

Ihres Erachtens werden vor allem Stoffwechselfvorgänge im Biologie Lehramtsstudium zu detailliert behandelt. Ihrer Meinung nach sollte es für jede biologische Disziplin eine inhaltsorientierte Fachdidaktik geben.

*Claudia: [Im Studium] Ergänzt werden sollte: „Die Gewinnung eines Gesamtüberblicks und die Übermittlung von Fähigkeiten, wie das Wissen an Schüler vermittelt werden kann ... und das wenn möglich in jedem Fachbereich separat“*

(Prätest\_SoSe2017\_Claudia: 21 - 21)

<sup>24</sup> Transkripte sind auf Grund des Umfangs nicht Teil der Arbeit/des Anhangs, können aber auf Nachfrage zur Verfügung gestellt werden.

### *Ergebnisse des Prätests im Vergleich zum Posttest*

Im Posttest haben sich Claudias Einstellungen, welche die Relevanz des Fachwissens betreffen, kaum geändert. Sie betont hier auch ihr Interesse an einem hohen Fachwissen, wünscht sich allerdings, wie auch schon zum Zeitpunkt des Prätests, einen geringeren Detaillierungsgrad bei Stoffwechselprozessen. Im Gegensatz dazu sollten auf konkrete Inhalte bezogene fachdidaktische Veranstaltungen ergänzt werden.

*Claudia: „Grundsätzlich finde ich schon interessant und gut und wichtig was wir da alles lernen. Aber ich glaube an einigen Stellen geht es ein bisschen über den Punkt hinaus, den man wissen müsste. Also gerade im Bereich der Biochemie oder in der Pflanzenphysiologie, wo wir dann durch die einzelnen Enzyme der einzelnen Stoffwechselwege irgendwie alle durchgenommen haben. Die, glaube ich, sind einfach für die Ausübung für den Lehrerberuf irrelevant. Aber an sich ist es schon ziemlich wichtig, dass man auch eine fachwissenschaftliche Ausbildung hat. Ich würde mir wünschen, dass wenn wir den Komplex Zellbiologie haben, dass wir dann zeitgleich auch eine Didaktik-Veranstaltung haben zur Zellbiologie. Ich lerne gern dieses Fachwissen, aber ich würde dann zeitgleich auch das Didaktische lernen und das auch in jedem Fach. Ich finde man sollte lieber die Semester so aufteilen, dass man dann vielleicht einen Inhalt, der tiefer gehend ist, eher ein bisschen runter bricht und dafür dann aber eine Veranstaltung zur Aufarbeitung, so wie wir das gemacht haben, zu jedem Fach hat. [...]“*

(Claudia\_Transkript\_Laut\_Denken\_SoSe17: 50 - 50)

Claudias Einschätzungen zur Relevanz des Fachwissens macht sie im hohen Maße an ihrer eigenen Bildungsbiographie und an der eigenen Überzeugung als Lehrkraft „mehr“ wissen zu müssen als die Schüler\*innen fest.

*Claudia: [...] was ich für relevant halte (...) Vielleicht auch einfach aus den eigenen Erkenntnissen aus meinem Unterricht - Was ich da brauchte, was ich da wissen musste. Und dann als Lehrer sollst du natürlich ein bisschen über den Schülern stehen. Und auch anhand der Fragen, die wir den Lehrern gestellt haben und es hat einfach keinen Menschen interessiert wie dieses Enzym heißt, was da jetzt grad das und das macht. [...] Ich will schon mehr wissen als die Schüler. Das ist schon mein Ziel.*

(Claudia\_Transkript\_Laut\_Denken\_SoSe17: 51 - 54)

Zum Zeitpunkt des Prätests weist Claudia bereits ein vergleichsweise hohes Fachwissen auf. Sie hat ein gutes Verständnis bezüglich der Bedeutung der Amphiphilie für die Bildung von Reaktionsräumen. Die Dynamik der Kompartimentierung kann sie mit der Neubildung und Modifikation von Kompartimenten in Verbindung bringen.

Die von Claudia gemeinsam mit Lisa erstellte Concept Map besteht überwiegend aus Schulwissen. Vereinzelt wurde auch auf universitäres Wissen zurückgegriffen, beispielsweise bei der Beschreibung der Struktur von Phospholipiden, bei Erklärungen zur Fluidität der Biomembran und bei den Ausführungen zum Cytoskelett. An einigen Stellen wurde das universitäre Wissen mit dem Schulwissen verknüpft. Die meisten Verknüpfungen sind allerdings auf schulischem Niveau. Stellenweise sind die Verbindungen fachlich nicht angemessen. Die Gesamtpunktzahl von 102 Punkten liegt im Durchschnitt der Gesamt-Stichprobe und ist vor allem auf die Bildung von Gruppen und Hierarchien zurückzuführen (s. Tabelle 32) (Berechnung des Scores s. Kapitel 14.2.2).

Tabelle 32 Bewertungsergebnis der Concept Map von Claudia und Lisa (Zyklus 1)

Kategorie Relation	Anzahl der Verbindungen	Gesamtpunkte der Verbindungen
Beschriftung fehlt	0	0
Beschreibung über Adjektive	0	0
Gruppenbildung	31	93
Hierarchie	3	9
Ursache-Wirkung	0	0
<b>Summe</b>	<b>34</b>	<b>102</b>

Im Posttest kann Claudia zu fast jeder Frage eine fachlich angemessene und zum größten Teil auch elaborierte Antwort geben. Lediglich bei der Beschreibung des sekretorischen Wegs hat sie Schwierigkeiten. Diese Schwierigkeiten sind im Prättest nicht auffällig geworden, weil auf Grund des Multiple-Choice-Formats dieser Frage lediglich angekreuzt werden musste und Claudia eventuell geraten hatten. Im Posttest (Laut-Denken-Studie) hingegen war Claudia aufgefordert ihre Gedanken zu verbalisieren.

Auch bei der Limitation der Zellgröße durch das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen konnte Claudia, analog zum Prättest, keine fachlich angemessenen Vorstellungen äußern. Das Gleiche gilt für Claudias Vorstellungen bezüglich des Endomembransystems. Betrachtet man demnach ausschließlich die Zustände vor und nach der Lehrveranstaltung, zeigen sich Veränderungen größtenteils dahingehend, dass die Antworten detailreicher und differenzierter ausfallen. Die Zustände zu den jeweiligen Messzeitpunkten zu Beginn und zum Ende der Lehrveranstaltung sind auch durch den Lernpfad (s. Abbildung 38) ersichtlich. Markante Stellen im Lernpfad werden im Folgenden anhand von Schlüsselstellen und Hürden im Lernprozess näher erläutert.

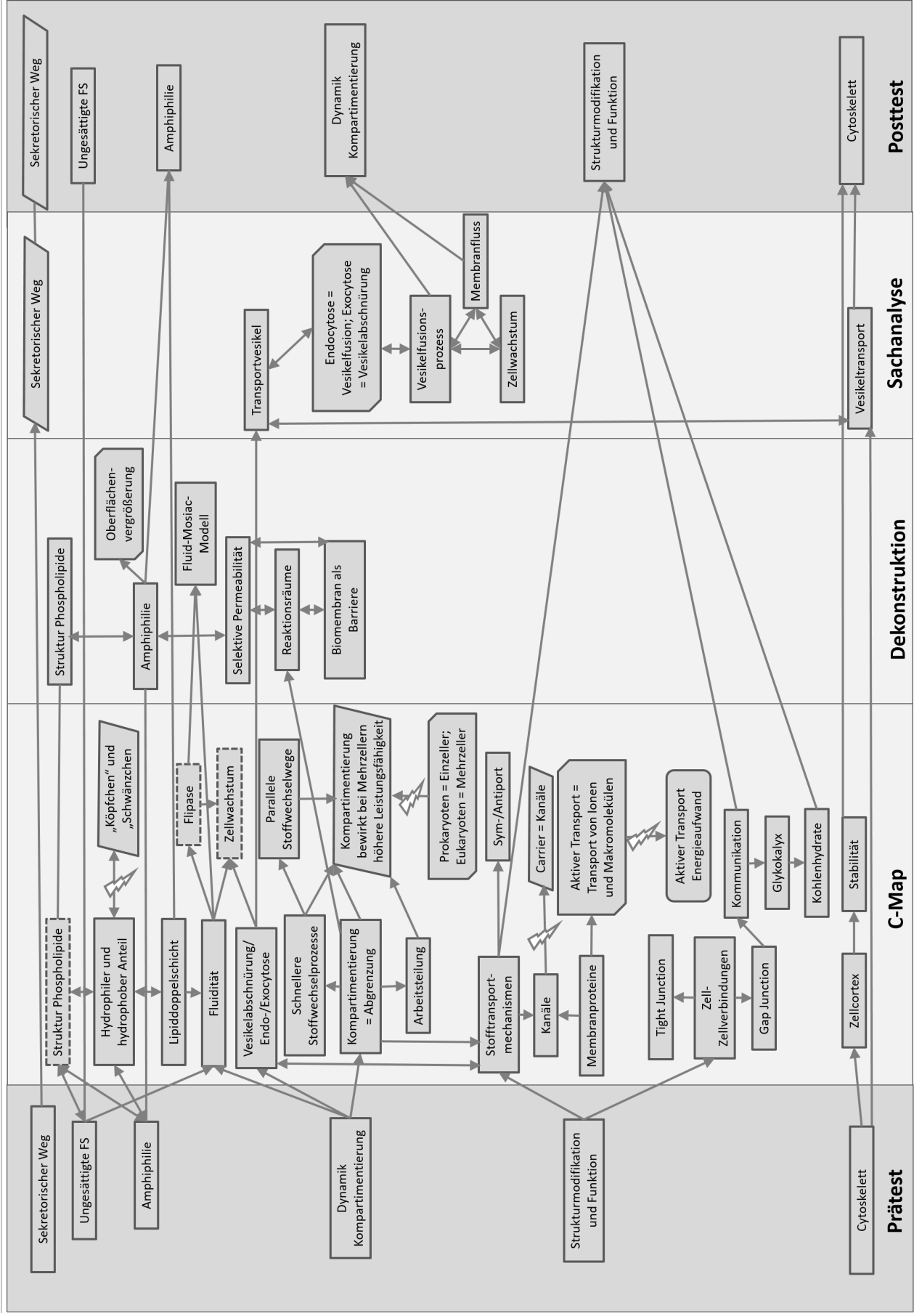


Abbildung 38 Lernpfad Claudia zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 1)

### Schlüsselstellen im Lernprozess von Claudia

Als Schlüsselstellen können, wie bereits im Kapitel 14.4 erwähnt, besonders markante und gewinnbringende Stellen für den Lernprozess beschrieben werden. Auf diese Momente und die zugrunde liegenden Umstände, wird im Folgenden näher eingegangen.

Claudia und Lisa beginnen die Erstellung der Concept Map damit, dass sie sich gegenseitig berichten, zu welchem Ergebnis sie in ihrer jeweils einzeln erstellten Concept Map (Prätest) gekommen sind. Dabei gingen sie unstrukturiert vor, indem sie zunächst Folgen der Kompartimentierung beschrieben.

Claudia: *Weil du hast schnellere Stoffwechselfvorgänge und... (unv.) schneller. Ach und die Arbeitsteilung.*

Lisa: *Arbeitsteilung*

Claudia: *Höhere Leistungsfähigkeit*

(Transkript\_CMap\_Claudia\_Lisa: 3 - 5)

Daraufhin beschreiben sie die grobe Struktur der Biomembran als Doppellipidschicht und nehmen dabei Bezug auf das Konzept der Amphiphilie, ohne es explizit zu benennen. Durch diese Struktur sehen sie die Notwendigkeit von Stofftransportmechanismen durch die Membran begründet. Letztendlich erschließen sie sich somit das Konzept der Kompartimentierung mit Bezug auf die Abgrenzungsfunktion. Claudia und Lisa arbeiten hierbei Struktur- und Funktionszusammenhänge heraus, die sich auf Schulniveau befinden.

Lisa: *Ich habe Doppellipidschicht. Lipiddoppelschicht. Anders herum habe ich es aufgeschrieben, aber es ist, glaube ich, egal.*

Claudia: *So und dann haben wir... Da bin ich dann noch tiefer gegangen - dass du einen hydrophilen und hydrophoben Anteil hast.*

Lisa: *Genau. Richtig.*

Claudia: *Ich habe dann auch gleich geschrieben: hydrophob sind die Fettsäuren und hydrophil ist Glycerin. Stimmt das?*

Lisa: *Ja.*

Claudia: *Soll ich dann ‚hydrophobe Fettsäuren‘ schreiben?*

Lisa: *Ja, schreibe ich hydrophob. (...schreibt) Ich glaube, dass machen wir mit dazu.*

Claudia: *Wir können hier hinten erstmal was zum Aufbau. [...] Weil das hydrophile ist immer außen.*

Lisa: *Außen und hydrophob ist innen.*

Claudia: *Ok. Dann damit in Zusammenhang vielleicht gleich den Stofftransport begründen? [...]*

Lisa: *Ich habe Kanäle, Membrankanäle. [...]*

Claudia: *So. Kompartimentierung die bilden...*

Lisa: *Die bedingen die Reaktionsräume.*

Claudia: *Bedingen oder bilden?*

Lisa: *(Unv.) ist glaube ich egal. (...) Was hatten wir denn noch? Da hatten wir Organellen, stimmt's?*

Claudia: *Genau. ‚Grenzen ab‘ vielleicht?*

(Transkript\_CMap\_Claudia\_Lisa: 18 - 40)

Die Aufgabe zur kooperativen Erstellung der Concept Map war im ersten Zyklus so gestellt, dass die Studierenden aufgefordert waren, die Concept Map vorerst nur mit ihrem eigenen Fachwissen, das heißt ohne sofortige Zuhilfenahme von Literatur, anzufertigen. Erst im zweiten Schritt konnte Literatur zu Rate gezogen werden. Diese Vorgehensweise ist durch das Designprinzip „Vorwissen aktivieren“ (s. Kapitel 13.1) begründet. Als Claudia und Lisa die Literatur zu Hilfe nehmen, gelingt es ihnen gut, die Inhalte in ihr vorhandenes geäußertes Wissensnetz zu integrieren. Einige fachliche Inhalte (z.T. dem universitären Wissen zugehörig) können dadurch differenzierter dargestellt werden, wie folgende Zitate zeigen:



Claudia: *Vielleicht das „selektive Barriere“? Das ist das hier. Könnte man ergänzen.*

Lisa: *Willst du das schreiben als ‚Fungieren als selektive Barriere‘?*

(Transkript\_CMap\_Claudia\_Lisa: 287 - 288)

Claudia: *Und das durch die Zusammensetzung eine unterschiedliche Fluidität ist. (...) Ah stimmt, das hätten wir auch noch. Flip-Flop.*

Lisa: *Flip-Flop, ja.*

(Transkript\_CMap\_Claudia\_Lisa: 325 - 326)

Claudia: *Wir können höchstens zu Proteine ‚häufig organisiert als  $\alpha$ -Helix‘.*

Lisa: *Ja, das könnte man machen. Ich schreibe mal  $\alpha$ -Helix.*

(Transkript\_CMap\_Claudia\_Lisa: 341 - 342)

Besonders ihre Erarbeitung zur Struktur der Phospholipide hilft ihnen in der nachfolgenden Lerngelegenheit (Dekonstruktion der Schulbuchtexte) bei der kritischen Analyse der Ausführungen zur Struktur der Lipiddoppelschicht.

Lisa: *Aber weißt du, was die auch nicht sagen? Also, was jetzt außen ist, quasi hydrophob oder hydrophil, nur (liest vor) "zeigen die Köpfe nach außen".*

Claudia: *Aber naja (liest vor) "der Kopfbereich ist hydrophil" steht ja weiter oben. (...) Aber die haben hier nicht geschrieben, was im Kopfbereich und was im Schwanzbereich drin ist (...) nur, dass die Lipide sich gliedern. (...) Also weißt du? Das macht für mich so den Eindruck, als ob die grundlos oben polar unten unpolar sind, aber, dass das (...)*

Lisa: *Also die Zusammensetzung.*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_ Claudia\_Lisa: 26 - 28)

### *Lernhindernisse im Lernprozess von Claudia*

Ein Lernhindernis, was im Laufe der Erstellung der Concept Map nicht aufgeklärt wurde, ist die fachlich unangemessene Vorstellung von Prokaryoten als Einzeller und Eukaryoten als Mehrzeller. Diese Gleichsetzung ist wissenschaftlich betrachtet nicht haltbar. Die Einteilung nach Ein- und Mehrzellern ist rein beschreibend und folgt keinem Verwandtschaftsverhältnis. Es gibt zahlreiche einzellige Eukaryoten (z.B. Algen und Protozoen).

Claudia: *Ich weiß nicht, ob man da jetzt noch von Procyte und Eucyte oder eher gesagt von Einzellern und Mehrzellern...Das noch unterscheiden kann.*

Lisa: *Bei der Arbeitsteilung?*

Claudia: *Ja, weil du...gerade bei Mehrzellenorganismen durch die Kompartimentierung eine bessere Leistungsfähigkeit und höhere Arbeitsteilung hast.*

Lisa: *Aber wie willst du das auf den Pfeil schreiben?*

Claudia: *Das wäre die Frage. ‚Vorteil gegenüber‘. (Lachen)*

(Transkript\_CMap\_Claudia\_Lisa: 9 - 13)

Darüber hinaus führt Claudia eine fachlich unpassende Analogie ein, die sie in der Schule als Merksatz lernte.

Claudia: *‚Köpfchen in das Wasser und Schwänzchen in die Höh.‘ Habe ich immer in der Schule gelernt. Also die hydrophilen Köpfchen in das Wasser, also nach...*

(Transkript\_CMap\_Claudia\_Lisa: 89 - 89)

Hier liegt eine doppelte Reduktion vor. Erstens spricht Claudia, wie eine Vielzahl ihrer Mitstudierenden von „Köpfchen“, für den hydrophilen Bereich und „Schwänzchen“ für den hydrophoben Bereichen. Die zweite Reduktion betrifft die Orientierung der Membranlipide, die als Analogie zu einer Liedzeile des Kinderliedes „Alle meine Entchen“ aufgefasst wird.

Diese Analogie würde allerdings nicht für die Bildung eines Bilayers gelten, sondern nur für die Bildung von Monolayern auf wässrigen Oberflächen. Allerdings scheint der „Merksatz“ dermaßen eingängig, dass er auch an fachlich unpassender Stelle zum Einsatz kommt.

Ein weiteres Lernhindernis (welches ebenfalls bei mehreren Mitstudierenden) auftaucht, betrifft die Unterteilung von aktivem und passivem Transport. Hier ist die zu Grunde liegende Problematik die, dass nicht von einem Konzentrationsgefälle ausgegangen wird, welches die Unterscheidung von aktivem und passivem Transport ausmacht, sondern von der selektiv permeablen Struktur der Membran an sich. Es wird davon ausgegangen, dass der passive Transport ausschließlich die Diffusion durch die Lipiddoppelschicht ohne Transportproteine betrifft. Allerdings erfolgt auch ein Transport von Ionen durch Membranproteine passiv, solange er entlang des Konzentrationsgefälles erfolgt. Zum Schluss der Unterredung wird auch festgestellt, dass aktiver Transport mit „Energieverbrauch“ zusammenhängt.

*Claudia: Ja, richtig. Du könntest höchstens Wasser einzeln (stellen?) oder kleine... Nur Wasser und kleine gelöste können passiv durch, stimmt's?*

*Lisa: Ja. Irgendetwas war auch noch mit geladen und ungeladen. [...] Komm wir schreiben da jetzt einfach Wasser hin.*

*Claudia: Dann schreibe ich hier ‚Ionen‘. (...schreibt) Ionen und dann schreiben wir noch Makromole...oder...*

*Lisa: Makromoleküle. Ist alles was größer ist.*

*Claudia: Transport...*

*Lisa: Du kannst hier auch einen Doppelpfeil machen mit ‚erfolgt‘, oder? Passiv?*

*Claudia: Oder halt aktiv. (Hier so einen Pfeil?)? Oder? (...) Und da ist das hier nötig.*

*Lisa: Genau. Und aktiv [...] Und passiv...Gehen Ionen auch passiv durch?*

*Claudia: Ich glaub nein, da geht nur Wasser durch. Also aktiv ist, auf jeden Fall, Makromoleküle. [...] Und Ionen. Große Ionen auf jeden Fall, aber ich glaube, die können beides.*

*Lisa: Ja, oder?*

*Claudia: Ich meine das wird auch noch... Ach nein, aktiv nicht. Aktiv heißt mit Energieverbrauch.*

(Transkript\_CMap\_Claudia\_Lisa: 127- 141)

Im Zuge der Dekonstruktion des Schulbuchtextes sind Claudia und Lisa sehr darauf bedacht „Fehler“ zu finden, obwohl dies nicht der Aufgabenstellung entsprach. Im Gespräch zeigt sich ein fachlich unangemessenes Verständnis des Prinzips der Oberflächenvergrößerung, welches als immer geltendes „Bestreben“ des Kompartiments oder der Zelle nach einer größeren Oberfläche aufgefasst wird. Dieses „Bestreben“ wird hier in Verbindung gebracht mit der allgemeinen Zusammenlagerung der Membranlipide durch hydrophobe Wechselwirkungen nach dem Prinzip der Amphiphilie. Das Prinzip der Oberflächenvergrößerung ist (vom wissenschaftlichen Standpunkt aus) jedoch eher ein wiederkehrendes Phänomen, was sich nicht auf jede beliebige biologische Struktur anwenden lässt.

*Claudia: Also dieses "zwar". (...) Da könnte man halt sagen, dass die immer versuchen sich zusammenzubilden und - jetzt weiß ich bloß nicht mehr - war es eine kleinstmögliche Oberfläche, zu bilden?*

*Lisa: Nee, wollen nicht immer alle eine größtmögliche Oberfläche haben?*

*Claudia: Weißt du, dann könnte man Bezug zu dem Konzept der Oberflächenvergrößerung -*

*Lisa: Oberflächenvergrößerung, ja! (...)*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_ Claudia\_Lisa: 46 - 49)

Weitere Lernhindernisse zeigen sich bei der Lerngelegenheit zur Erstellung einer konzeptorientierten Sachanalyse. Den sekretorischen Weg beschreibt sie als Transportweg durch die Zelle, welcher ihrer Ansicht nach jedoch nicht an der Plasmamembran endet,

sondern im Lysosom. Weiterhin beschreibt sie aber den Prozess der Vesikelfusion mit der Plasmamembran. Im Lysosom erfolgt ein Abbau von Stoffen mittels hydrolytischer Enzyme und Phosphatasen. Dieser Prozess ist allerdings nicht einer Sekretion (lat. secretio „Absonderung“) gleichzusetzen. Diese Vorstellung zeigt sich auch im Posttest erneut, als sie aufgefordert wurde, den sekretorischen Weg zu beschreiben.

*Also kann ich das Erste schon einmal ausschließen, weil ich als letztes brauche „Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren“, damit die aus der Zelle herauskommen können. Und jetzt weiß ich, dass die Enzyme in Lysosomen verpackt werden und dann zur Plasmamembran transportiert werden. Also müsste davor auf jeden Fall das Lysosom kommen. Dann fällt also das Dritte auch weg.*

(Claudia\_Transkript\_Laut\_Denken\_SoSe17: 121 - 121)

Claudia beschreibt hier die Exocytose als Vesikelabschnürung, indem Stoffe aus der Zelle hinaus gelangen und die Endocytose als Vesikelfusion, bei der Stoffe in die Zelle hineingelangen (Sachanalyse\_SoSe17\_Claudia: 2: 239|528 - 2: 949|613). Hier sind die Begriffe *Vesikelabschnürung* und *Vesikelfusion* vertauscht worden. Folgt man Claudias weiteren Ausführungen in der Sachanalyse, so wird das Beispiel auffällig, auf welches sie sich bezieht. Sie nennt hier den Transport von Neurotransmittern über die Membranen der Synapse über den synaptischen Spalt hin zur Zielmembran. Eventuell geht Claudia davon aus, dass die Transmitter auch im synaptischen Spalt von Vesikeln umgeben sind. Die könnte zur Annahme führen, dass eine „Abgabe der Stoffe in die Zielzelle“ (Sachanalyse\_SoSe17\_Claudia: 2: 533|339 - 2: 790|367), d.h. zur postsynaptischen Membran, über Vesikelfusion erfolgt. An ebendieser Stelle hat Claudia keine Quellenangabe vorgenommen. Dies deutet darauf hin, dass sie diese Vernetzung von Prozessen aus ihrem Gedächtnis abgerufen hat.

### *Claudias Anwendung von Wissen, um Konzepte zu identifizieren und um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren (Facetten 1 & 3)*

Bei den Lerngelegenheiten zur Dekonstruktion der Schulbuchtexte, beim Verfassen der Sachanalyse und des Lerntextes wurden die Studierenden aufgefordert, einerseits fachliche Konzepte zu identifizieren und andererseits Reduktionen und deren Folgen für das fachliche Lernen zu identifizieren.

Die Identifikation von drei Konzepten im Schulbuchtext erfolgt bei Claudia und Lisa nach augenscheinlichen Merkmalen. Sie richten ihre Suche vor allem nach Schlüsselwörtern, wie „Prinzip“, „Basiskonzepte“ oder kursiv geschriebenen Wörtern und weniger nach inhaltlichen Kernaussagen aus.

*Claudia: Hier haben wir schonmal (...) ein Konzept.*

*Lisa: Schlüssel-Schloss?*

*Claudia: Und Kompartimentierung. (...) Das kann ich ja mal markieren.*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_Claudia\_Lisa: 5 - 9)

*Lisa: Ist das dann auch wieder ein Konzept? Das Fluid-Mosaik-Modell?*

*Claudia: Wo bist du? Ach da unten schon.*

*Lisa: Ja ich hab grad das kursive Wort gesehen*

*Claudia: Ja, bestimmt - im Prinzip zumindest.*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_Claudia\_Lisa: 50 - 53)

Auch bei der Erstellung der Sachanalyse ist Claudia nur bedingt in der Lage, Konzepte eigenständig zu benennen. Als Konzepte werden lediglich Basiskonzepte, wie „Kompartimentierung“ und „Kommunikation“ benannt (Sachanalyse\_SoSe17\_Claudia: 2: 269|755 - 2: 704|795). Auch im daraufhin von ihr erstellten Lerntext benennt Claudia ebenfalls keine Konzepte.

Bezüglich der Reduktionen im Text identifizieren Claudia und Lisa nur zwei sektorale Reduktionen. In dem hier aufgeführten Beispielzitat zeigt sich, dass sie eine Reduktion vor allem an einer ihres Erachtens nur unzureichenden „Erklärung“ der beschriebenen Sachverhalte im Text festmachen. Es findet keine Auseinandersetzung mit den Folgen für das fachliche Lernen statt.

Claudia: [...] *Aber gut, haben wir jetzt hier beschrieben, dass die für Transportprozesse zuständig sind?*

Lisa: *Nein. Guck mal - es ist hier unten lustigerweise dargestellt, aber wo ist da der Text dafür?*

Claudia: *hier steht nur "Abbildung 2"*

Lisa: *"Abbildung 2"! Und wie funktioniert das jetzt? In dem Text wird ja nicht mal mit einem Wort "Carrierprotein" erwähnt, oder habe ich das jetzt überlesen?*

Claudia: *"Transportprozesse näher erläutern, beziehungsweise überhaupt aufführen" (...) "überhaupt als zentrale Funktion nennen"*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_Claudia\_Lisa: 62 - 65)

Das benötigte Vorwissen beziehen sie vor allem auf Fachbegriffe und weniger auf Prozesse oder zugrundeliegenden Konzepte, wie folgendes Beispielzitat zeigt:

Lisa: *Hier ist auf jeden Fall nicht erklärt, was die Fachbegriffe bedeuten. (...) Hier müssen Schüler schon wissen, was hydrophob heißt.*

Claudia: *Ja, ist Vorwissen.*

Lisa: *Und was "polar " und "unpolar" ist.*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_Claudia\_Lisa: 5 - 9)

Claudia und Lisa bearbeiten die Aufgabenstellung zur Dekonstruktion des Schulbuchtextes, indem sie vor allem Formulierungen sehr kritisch dahingehend prüfen, ob Schüler\*innen die Formulierung „verstehen“ würden. Sie machen sehr oft deutlich, dass sie den Schulbuchtext generell nicht gelungen finden und sind dementsprechend sehr darauf bedacht „Fehler“ im Buch zu finden.

Im fachlichen Lerntext nimmt Claudia sektorale Reduktionen vor, die sie auch als solche kenntlich macht. Dabei handelt es sich größtenteils um Beschreibungen von Prozessen auf der phänomenologischen Ebene. Molekulare Prozesse hingegen, wie zum Beispiel Vesikulations- oder Fusionsprozesse wurden bewusst reduziert.

### *Claudias Selbsteinschätzungen zum Lernprozess*

Im retrospektiven Partnerinterview im direkten Anschluss an die Lernaufgabe zur kooperativen Erstellung einer Concept Map, gibt Claudia an, größtenteils auf ihr vorhandenes Schulwissen zurückgegriffen zu haben. Ergänzend habe sie universitäres Wissen herangezogen. Fachlich dazugelernt habe sie wenig. Ihr Wissen wurde größtenteils aufgefrischt. Allerdings benennt sie auch die Bedeutung des Zellcortex, d.h. die Interaktion der Biomembran mit dem Cytoskelett, als konkreten innerhalb der Lerngelegenheit dazugelernten Inhalt. Als fachliche Schwierigkeit benennt sie die „Organisation der Glykocalix“. Die Auseinandersetzung mit den fachlichen Inhalten hält sie für relevant in Bezug auf die Ausübung ihres späteren Berufs. Sie begründet dies größtenteils mit

Erleichterungen in der Unterrichtsvorbereitung und Unterrichtsdurchführung. Als eher nicht relevant für ihren späteren Beruf beschreibt sie als konkreten Inhalt die Struktur von Membranproteinen.

Hinsichtlich der Lernaufgabe zur Dekonstruktion benennt sie die Herkunft ihres verwendeten Wissens unterschiedlich: Die im Schulbuch beschriebenen Inhalte waren ihr aus der Schule bekannt. Die kritischen Einschätzungen zu den beschriebenen Inhalten konnte sie allerdings nur aufgrund des durch die Vorlesung und Klausurvorbereitung angeeigneten universitären Wissens vornehmen. Die Lernaufgabe und die Auseinandersetzung mit den Inhalten hält sie als Aufgabe einer Lehrkraft für sehr relevant. Sie begründet dies mit der souveränen Unterrichtsdurchführung und Bedenken sich vor der Klasse blamieren zu können.

### *Bedeutung der Einzelfallanalyse von Claudia für die Iteration*

In Fall von Claudia zeigt sich, dass (obgleich auf ein gutes Fachwissen im Prätest zurückgegriffen wurde) eine Vielzahl fachlich unangemessener Vorstellungen vorhanden sind. Diese unangemessenen Vorstellungen sind auf Grund dessen, dass wenig universitäres Wissen geäußert wurde, vor allem dem Schulwissen zuzuordnen. Beispielsweise wurde die Zuordnung zu aktivem und passivem Transport nicht am Konzentrationsgefälle, sondern an Strukturen und Stoffen festgemacht. Dieser Vorstellung sollte auch im Schulunterricht entgegengewirkt werden, indem das Konzept des Konzentrationsgefälles und der Diffusion den konkreten passiven und aktiven Transportmechanismen vorangestellt werden. Dies ist im Rahmenlehrplan der Länder Berlin und Brandenburg auch so vorgesehen. Hinsichtlich dieser Lehrveranstaltung wird im folgenden Zyklus anhand eines Beispiels aus dem Schulbuch das Prinzip der selektiven Permeabilität im Zusammenhang mit dem Konzentrationsgefälle besprochen.

In den folgenden Zyklen wird weiterhin die Metapher der „Köpfchen“ und „Schwänzchen“ (auch als vermeintliche Analogie zum Kinderlied) explizit besprochen und einer Kritik unterzogen. Vorgenommen wird diese Diskussion in der Sitzung zur gemeinsamen Auswertung der Dekonstruktionsaufgabe. Hierbei wird auch dem Designprinzip der *Dekonstruktion* und *Rekonstruktion* explizit Rechnung getragen

Studierende mit einem guten Vorwissen, wie es bei Claudia und Lisa der Fall war, sind auch gut in der Lage mit der zur Verfügung gestellten Fachliteratur umzugehen, weil die Inhalte für sie einen hohen Wiedererkennungswert aufweisen und schnell vernetzt werden können. Für Studierende mit einem geringeren Vorwissen gestaltet sich diese Vernetzung schwieriger und langwieriger, weil zunächst Verstehensprozesse erfolgen müssen. Die Zeit, um sich in das Material einzuarbeiten, kann dahingehend verkürzt werden, indem die Literatur und Vorlesungsunterlagen vorstrukturiert werden. Auch dies wurde ab Zyklus 2 berücksichtigt.

Durch einen fehlenden Kontrollmechanismus zwischen der Erstellung der Sachanalyse bis zum Zeitpunkt des Posttests konnten fachlich unangemessene Vorstellungen nicht mehr korrigiert werden. Die von der Seminarleitung kommentierten Sachanalysen und Lerntexte wurden erst im Nachgang an die Laut-Denken-Studie zurückgegeben. Da eine vorherige Rückgabe der Sachanalysen und Lerntexte aus organisatorischen Gründen problematisch

ist, wird ab dem Zyklus 2 ein angeleitetes Peer-Feedback nach der Erstellung des Lerntextes initiiert.

Bezüglich des Wissens über Konzepte und des Wissens über Reduktionen zeigt sich deutlich, dass Claudia durch die Aufgabenstellung nicht klar wurde, was Konzepte (im Sinne von fachlichen Kernaussagen mit weitreichender Erklärungskraft) ausmachen. Dies spricht für eine Erweiterung der Einführung zur Aufgabenstellung durch Good-Practice-Beispiele zur Identifikation von Konzepten und fachlichen Reduktionen.

## 16.1.2 Michelle

Alter: 19,  
Abiturnote: 1,7  
Modulnote „Molekulare und zelluläre Biologie“: 2,7  
Vorlesung Zellbiologie: im SoSe16

### *Einstellungen von Michelle zum Lehramtsstudium und zum Fachwissen*

Im Rahmen von Professionalisierungsprozessen im Lehramt spricht Michelle vor allem praktischen Erfahrungen und der Orientierung an Vorbildern eine hohe Bedeutung zu. Auch ein hohes Fachwissen ist für sie eher wichtig. Nur teilweise als wichtig werden Hospitationen, Talent und das Hochschulstudium angesehen. Dementsprechend antwortet sie auf die Frage, wie zufrieden sie mit ihren fachwissenschaftlich biologischen Studienanteilen sei „eher unzufrieden“.

Ihr eigenes biologisches Fachwissen schätzt sie als gleich zu dem ihrer Mitstudierenden ein. Ihr zellbiologisches Fachwissen bewertet sie als eher niedriger als ihr Fachwissen in anderen Teilgebieten der Biologie. Dies entspricht dem durchschnittlichen Antwortverhalten der Stichprobe. Ihr zellbiologisches Schulwissen ist ihrer Meinung nach angemessen und ihr universitäres Wissen eher niedrig. Mit dieser Einschätzung liegt sie etwas unterhalb des durchschnittlichen Antwortverhaltens der Stichprobe. Auch ihre Angaben zur wöchentlichen Vor- und Nachbereitung (0,5 h/Wo) und zum Lernaufwand für die abschließende Klausur (2 Arbeitstage) liegen unterhalb des Durchschnitts der Stichprobe (Vor- und Nachbereitung in h/Wo  $M = 1,33$ ;  $SD = 1,37$  und Klausurvorbereitung in Arbeitstagen  $M = 5,64$ ;  $SD = 3,08$ ).

Michelle hält das universitär vermittelte Fachwissen für relevant. Diese Relevanz macht sie vor allem daran fest, durch ein hohes Fachwissen besser auf tiefergehende Fragen von Lernenden eingehen zu können und curriculares- sowie Überblickswissen zu erlangen.

*Michelle: Ich denke, dass das universitäre Fachwissen sehr wichtig ist, um z.B. interessierten Schülern mehr als Schulwissen erklären zu können und Überblicke, sowie Schwerpunkte im Rahmenlehrplan zu erkennen*

(Prätest\_SoSe2017\_Michelle: 14 - 14)

Michelles Interesse an Schulbiologie und an universitär vermitteltler Biologie ist gleich hoch. Mit Mittelwerten von  $M = 3,29$  ( $SD = 0,45$ ) für beide Skalen ist ihr Interesse für die universitäre Biologie deutlich höher als beim Durchschnitt ihrer Mitstudierenden ( $M = 2,71$ ;  $SD = 0,17$ ). Für das Schulwissen liegt ihr Interesse ähnlich hoch, wie bei ihren Mitstudierenden ( $M = 3,18$ ;  $SD = 0,58$ ).

### *Ergebnisse Prätest im Vergleich zum Posttest bei Michelle*

Michelles geäußerte Einschätzungen zur Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens haben sich zum Zeitpunkt des Posttests dahingegen geändert, dass sie nun nicht mehr von Schüler\*innen, sondern vom Inhalt ausgeht, an dem sie die Relevanz festmacht. Diesen universitär vermittelten Inhalten misst sie, auch aufgrund ihrer Verknüpfungen zum Schulwissen, eine hohe Relevanz für die Ausübung ihres späteren Berufs zu.

Michelle: *Ich denke es ist schon sehr wichtig, weil die Zelle oder generell Zellbiologie häufig in schulischem Wissen auftritt und ich fand das Seminar ganz gut, weil es gezeigt hat, wie häufig es eigentlich vorkommt - weil mir war das nicht so klar. Ich denke es gibt immer diese Details, die man nicht braucht, aber größtenteils braucht man es schon.*

(Michelle \_Transkript\_Laut\_Denken\_SoSe17: 48 - 48)

Zum Zeitpunkt des Prätests weist Michelle angemessene Vorstellungen über das Konzept der Amphiphilie auf und kann es mit dem Konzept der Kompartimentierung in Zusammenhang bringen.

Es gelingt ihr hingegen nicht, ungesättigte Fettsäuren mit dem Konzept der Membranfluidität in Verbindung zu bringen. Dementsprechend ist Michelle zu diesem Zeitpunkt auch nicht in der Lage, sich zur Dynamik der Kompartimentierung zu äußern. Den Stofftransport durch den Golgi-Apparat kann sie nicht zufriedenstellend beschreiben. Auch zu den unterschiedlichen Membranstrukturen mit Hinblick auf die Funktion kann Michelle keine Auskunft geben. Angemessene Vorstellungen äußert sie hingegen bezüglich der Struktur und Funktion des Cytoskeletts.

Die von Michelle gemeinsam mit Jana erstellte Concept Map beinhaltet vor allem beschreibende Relationen und Gruppenbildungen. Insgesamt liegt der Gesamtscore mit 109 Punkten im Mittelfeld der Stichprobe. Die Kennzeichnung der Wissensherkunft wurde nicht vorgenommen, sodass hierzu keine abschließende Bewertung stattfinden kann. Anhand des Niveaus kann allerdings davon ausgegangen werden, dass sich größtenteils auf Schulwissen bezogen wurde. Michelle und Jana stellten teilweise übergreifende Zusammenhänge her. Auch der molekulare Aufbau der Biomembran wurde stellenweise aufgezeigt.

Tabelle 33 Bewertungsergebnis der Concept Map von Michelle und Jana (Zyklus 1)

Kategorie Relation	Anzahl der Verbindungen	Gesamtpunkte der Verbindungen
Beschriftung fehlt	0	0
Beschreibung über Adjektive	10	20
Gruppenbildung	27	81
Hierarchie	1	3
Ursache-Wirkung	1	5
<b>Summe</b>	<b>39</b>	<b>109</b>

Im Posttest weist Michelle zu einer Vielzahl von Konzepten angemessene Vorstellungen auf. Sie konnte im Vergleich zum Prätest nun auch fachlich angemessene Vorstellungen zum Stofftransport durch den Golgi-Apparat, zur Dynamik der Kompartimentierung und zu unterschiedlichen Struktur- und Funktionszusammenhängen äußern. Konzepte, die bereits im Prätest fachlich angemessen beschrieben wurden, stellte sie auch im Posttest fachlich angemessen dar.

Im Folgenden werden ausgewählte fachliche Konzepte und ihre Entwicklung über die Lerngelegenheiten hinweg beleuchtet (s. Abbildung 39). Konzepte, die zwar im Prä- und Posttest abgefragt wurden, zu denen sich allerdings innerhalb der Lerngelegenheiten nicht mehr geäußert wurde, sind nicht dargestellt.



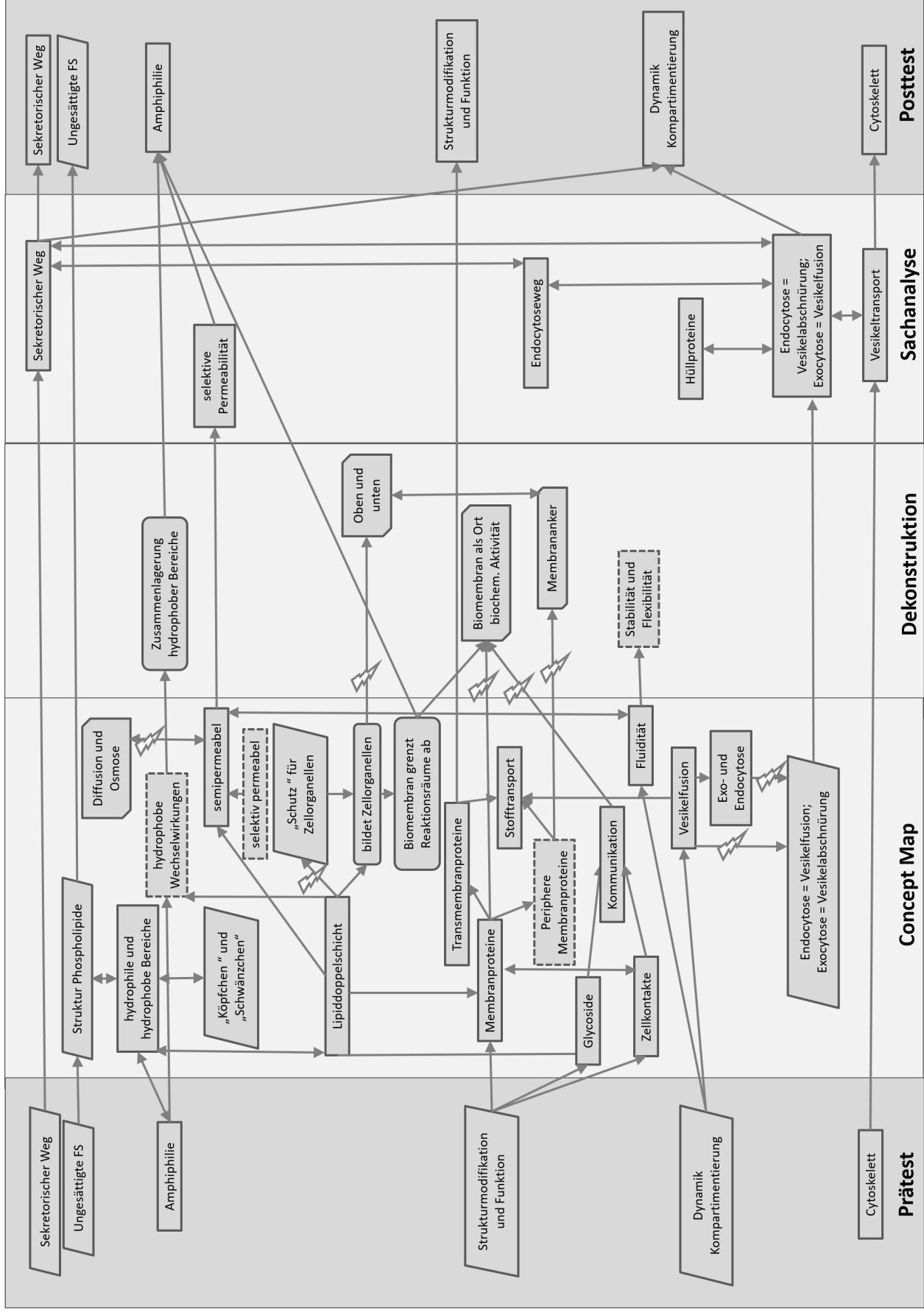


Abbildung 39 Lernpfad Michelle zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 1)

### Schlüsselstellen im Lernprozess von Michelle

Eine Schlüsselstelle im Lernprozess von Michelle betrifft die Beschreibung der Funktionen der Biomembran. Jana äußert die naive Vorstellung, dass die Biomembran die Zellorganellen schütze. Michelle bezweifelt diese Aussage in dem sie anführt, dass die Funktion der Biomembran über den reinen Schutz der Zellorganellen und Reaktionsräume hinausgehe, in dem sie diese Räume „bildet“.

Jana: [...] Sollen wir das mit der Schutzfunktion noch machen? Also es ist auch irgendwie...

Michelle: Schutz der Zellorganellen?

Jana: Genau, Zellorganellen und die dann wieder Reaktionsräume bilden.

Michelle: (...) Das wir sagen, weil die Biomembran schützt die Zellorganellen (...) sie bildet ja sie. Also keine Ahnung.

Jana: Naja in dem Moment, indem sie sie umschießt, ist sie irgendwie (...) sie hält die ja quasi.

Michelle: Ja, wir können vielleicht sagen, dass wir ‚bilden Zellorganellen‘.

[...]

Jana: Also Zellorganellen und dann mit den Reaktionsräumen. Also grenzt quasi Reaktionsräume ab.

(Transkription\_CMap\_Michelle\_Jana: 63 - 107)

Weiterhin macht Jana Michelle auch darauf aufmerksam, dass die Wirkungsweise der Biomembran nicht nach dem Prinzip der Semipermeabilität, sondern nach dem der selektiven Permeabilität ausgerichtet ist. Dies greift Michelle wiederum beim Verfassen der Sachanalyse in fachlich angemessener Form auf.

Michelle: [...] Was wir noch gar nicht haben, ist semipermeabel.

Jana: Stimmt, dass kommt auch zum Stofftransport. Ich setze es erstmal hierhin. (...) Ich habe letztes auch ein anderes Wort gelesen, obwohl wir immer nur semipermeabel gelernt haben. Eine Mischung aus selektiv und Permeabilität. (Unv.)

(Transkription\_CMap\_Michelle\_Jana: 68 - 69)

Michelle: „Die Zelle erfüllt viele Funktionen gleichzeitig, was durch die Kompartimentierung möglich ist. Die Kompartimente bilden mit ihren selektiv permeablen Membranen jedoch ein Hindernis für den Stofftransport dar“ (sic!)

(Sachanalyse\_SoSe17\_Michelle: 2: 217|790 - 2: 930|833)

Gemeinsam erarbeiten sich Michelle und Vanessa in der folgenden Lerngelegenheit interpretativ das Konzept der Amphiphilie im Zusammenhang mit hydrophoben Wechselwirkungen. Die Ausführungen zur Erklärung sind zwar fachlich angemessen, aber dennoch unvollständig. Es wird von Michelle ausschließlich die extrazelluläre Phase als polare wässrige Phase identifiziert. Die Phospholipide lagern sich jedoch spontan als Bilayer durch das Vorhandensein zweier wässriger Phasen, der extrazellulären Phase und dem Cytosol, zusammen.

Vanessa: (liest vor) "Sie hält die ständig zusammen" - also (...) Warte mal (liest vor) "Danach hindert zwar die wässrige polare Phase einer Zelle die Biomembran daran die Doppellipidschicht kurzzeitig aufzugeben." (...) Ah, ich glaube die meinen halt einfach nur, dass halt

Michelle: Dass die Köpfe halt nach außen (...)

Vanessa: Genau, dass sind die Köpfe, die das halt zusammenhalten und dadurch die Doppellipidschicht nie (...) immer zusammen ist.

Michelle: Die wässrige polare Phase ist meiner Meinung nach das außen von der Zelle. Dass du hier die Außenflüssigkeit hast. Die Außenflüssigkeit (...) und weil die polar und hydrophil ist, sorgt die dafür, dass die hier so bleiben und sich nicht verändern.

Vanessa: Stimmt.

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_Michelle\_Vanessa: 60 - 66)

### *Lernhindernisse im Lernprozess von Michelle*

Wie viele ihrer Mitstudierenden verwenden auch Michelle und Jana die Begriffe „Köpfchen“ und „Schwänzchen“ für die hydrophilen und hydrophoben Bereiche der Membranlipide. Diese Begriffe können jedoch animistische Vorstellungen hervorrufen, die die fachlich angemessenen Vorstellungen überlagern und zudem persistenter sind (s. Kapitel 7.3).

*Michelle: Ja, ok. Und die Doppellipidschicht besteht aus diesen.... Jetzt hat (das Zwischenwort gefehlt?). Köpfchen mit den Schwänzchen.*

*Jana: Ja, ich weiß. Die haben nochmal einen extra Namen. Ich weiß nur, dass die Köpfe sind lipophob bzw. hydrophil.*

*Michelle: Ja, genau. Und innen...*

*Jana: Und die Schwänzchen, die...*

*Michelle: Wir können auch erstmal Köpfchen und Schwänzchen...*

(Transkription\_CMap\_Michelle\_Jana: 14 - 18)

Ein weiteres Lernhindernis betrifft die Struktur der Phospholipide. Michelle ist sich zwar bewusst, dass es sich bei dem hydrophoben Bereich um Fettsäureketten handelt, geht allerdings davon aus, dass es stets ungesättigte Fettsäuren sind, welche die hydrophoben Bereiche der Membranlipide bilden. Dies lässt darauf schließen, dass sie sich der Vielzahl struktureller Unterschiede bei verschiedenen Membranlipiden nicht bewusst ist. Weiterhin geht sie auch davon aus, dass das Vorhandensein von Doppelbindung in ungesättigten Fettsäuren zur Hydrophilie beiträgt. Fettsäuren sind allerdings stets hydrophob. Selbst, wenn sich Michelle hier „versprochen“ haben sollte, wäre auch der geäußerte Zusammenhang von vorhandenen Doppelbindungen (s. folgendes Zitat: „eckig dargestellt“) und Hydrophobizität fachlich nicht nachzuvollziehen.

*Michelle: Ich hab noch das die Schwänze ungesättigte Fettsäuren sind, aber ich weiß nicht, ob das wirklich wichtig ist.*

*Jana: Das weiß ich nicht. Also...*

*Michelle: Das war auf jeden Fall eine Fettsäure-Kette.*

*Jana: Stimmt, die waren manchmal so eckig dargestellt, dass sie so aneinanderhängen.*

*Michelle: Deswegen sind sie hydrophil. Aber ich weiß auch nicht (unv.). Also...Wie gesagt das es aus Fettsäuren besteht.*

(Transkription\_CMap\_Michelle\_Jana: 28 - 32)

Zum Ende der Bearbeitungszeit für die Concept Map äußert Michelle eine unangemessene Vorstellung, die sich als erhebliches Lernhindernis für ein umfassendes Verständnis über die Struktur und Funktion der Biomembran herausstellen kann. Es betrifft die Funktionsweisen von Diffusion und Osmose. Michelle geht hier davon aus, dass es sich bei Diffusion und Osmose um zwei unterschiedliche Prozesse handelt und dass das Vorhandensein einer Membran der ausschlaggebende Faktor dafür ist, dass eine Osmose und keine Diffusion stattfindet. Sie erkennt dabei nicht an, dass es sich bei der Osmose um einen Spezialfall der Diffusion handelt, der dem Konzentrationsausgleich durch Transport von Wasser dient. Jana versucht ihr daraufhin zu erläutern, dass Osmose (in Form von Wassertransport) nur dann stattfindet, wenn die Porengröße der Membran für den Stoff für den es einen Konzentrationsgradienten gibt, zu gering ist. Die letzte Aussage Michelles deutet darauf hin, dass sie Janas Ausführungen nicht folgen kann.

*Jana: Oder semipermeabel deswegen befähigt zur Osmose oder so etwas?*

*Michelle: Nein, wir machen das hier wie die Vesikel und so. Stofftransport.*

*Jana: Ja. Aber Osmose ist eher ein Konzentrationsausgleich als ein direkter Transport. [...]*

*Jana: Diffusion.*

*Michelle: (Unv.). Nicht Diffusion. Diffusion ist im Wasser, aber wenn du eine Membran hast, dann*

*ist es was anderes. (Unv.) Hier Osmose (unv.).*

Jana: *Achso, na doch. Osmose nur bedingt, wenn die Moleküle die richtige Größe haben. Wenn es nur große sind, dann nur ein Wasseraustausch, um die Konzentration anzupassen. Aber wenn sie klein genug sind, dann macht er quasi einen Stoffaustausch.*

Michelle: *Ja. (Unv.)*

Jana: *Aber es ist nicht direkt, weil es transportiert werden soll, sondern weil eine Konzentration ausgeglichen wird - das ist nicht der Zweck Transport direkt.*

Michelle: *Ja ich glaube mir fehlt einfach das Wissen.*

(Transkription\_CMap\_Michelle\_Jana: 335 - 346)

Darüber hinaus zeigt sich auch in der folgenden Lerngelegenheit zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten, dass Michelle über unzureichende Vorstellungen über die Membran als Ort biochemischer Interaktionen verfügt. Gemeinsam mit Vanessa bearbeitet sie diese Lernaufgabe, wobei sie über den Zusammenhang zwischen Biomembran und Schlüssel-Schloss-Prinzip stolpern. Vanessa kann dabei keinen Zusammenhang feststellen. Michelle hingegen führt die Membranproteine als Beispiel für die Wirkweise des Schlüssel-Schloss-Prinzip an, relativiert dies allerdings wieder. Das wichtige Konzept der Membran als Ort biochemischer Interaktion wird dadurch verkannt.

Vanessa: *(liest vor) "Ferner finden an den Biomembranen Signalübertragungen nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip statt, die unterschiedliche Reaktionsfolgen in der Zelle zur Folge haben, z.B. direkte, indirekte Änderung der Genaktivität, Stimulierung bzw. Hemmung der Zellteilung. Basiskonzept Weiterführung S. 92". Das ist irgendwie so (...). Ich hab nie von einem Schlüssel-Schloss-Prinzip an der Biomembran gehört.*

Michelle: *Naja, wahrscheinlich sind damit eher gemeint, dass die Proteine dann nach Schlüssel-Schloss-Prinzip arbeiten. Naja (..) Ich find das passt auch nicht (...) [...]*

Vanessa: *(liest vor) "Direkte und indirekte Änderung der Genaktivität. Stimulierung bzw. Hemmung der Zellteilung" darunter kann ich mir gar nichts vorstellen. Also ich hab davon noch nie was gehört.*

Michelle: *Also ich kenne indirekte Änderung der Genaktivität vielleicht noch. Nee, eigentlich auch nicht.*

Vanessa: *Nicht an Biomembranen.*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_ Michelle\_Vanessa: 8 - 9)

Als ein weiteres gravierendes Lernhindernis zeigt sich ein Verständnis von der Zelle als eine isoliert betrachtete Struktur. Michelle geht davon aus, dass periphere Proteine sich nicht an der Innenseite der Membran befinden können, weil sie dann „herunterfallen“ würden. Daraus ergibt sich, dass sich Michelle die Biomembran nicht als allgegenwärtige physiologische Struktur vorstellt, sondern entsprechend einer zweidimensionalen ausschnittshaften Abbildung, so wie sie beispielsweise als Modell in Schulbüchern zu finden ist. Richtungsangaben, wie oben und unten sind bei der Beschreibung molekularer Strukturen fachlich unangemessen. Weiterhin gibt diese Aussage auch Hinweise darauf, dass Michelle über unzureichende Vorstellungen bezüglich Verankerungen und nicht-kovalenten Wechselwirkungen aufweist. Auch der von Vanessa eingebrachte Begriff der Zellkontakte ist hier fachlich unangemessen.

Vanessa: *Das ist immer so die Sache. (liest vor) "Wieder andere Membranproteine lagern nur locker auf der Biomembran auf. Diese Proteine werden als periphere Proteine bezeichnet."*

Michelle: *Was heißt lagern locker auf? Was heißt das dann?*

Vanessa: *Naja, dass die da einfach drauf liegen.*

Michelle: *Wenn die einfach so drauf liegen, dann können sie ja auf der Innenseite nicht liegen, weil dann fallen sie ja runter.*

Vanessa: *Was?*

Michelle: *Dann fallen sie ja runter von der Innenseite.*

Vanessa: *Naja, die haben schon Zellkontakte dazwischen. Aber in der Schule hab ich das auch*

*nicht gelernt, sondern, dass sie da nur so drauf auflagern. Also falsch ist es jetzt nicht.  
Michelle: Aber es gibt vielleicht eine falsche Schülervorstellung. (...) Aber naja, ok, wir können weitermachen.*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_Michelle\_Vanessa: 120 - 127)

Ein weiteres Lernhindernis zeigt sich, als im Text das Beispiel von Biomembranen in Chloroplasten angeführt wird. Michelle äußert hier ein unzureichendes Verständnis über die Allgegenwart der Biomembran und der Membranproteine. Michelle und Jana erkennen zwar die Existenz der Biomembran in Chloroplasten an, bezweifeln aber die Existenz von Proteinen in dieser Membran. Stattdessen spricht Vanessa von „Molekülen“ und „Systemen“, ohne dabei festzustellen, dass es sich hierbei um Proteinkomplexe handelt. Dies deutet darauf hin, dass die eigentliche Bedeutung der Membranproteine für physiologische Prozesse nicht erkannt wurde. Auch dies lässt sich auf eine unzureichende Kenntnis über die Biomembran als Ort biochemischer Interaktion zurückführen.

*Vanessa: Ok, gut, dann schreiben wir da: Welche Funktion? (..) Ich überlege gerade: Gibt es periphere, integrale Tunnelproteine in den Chloroplasten?*

*Michelle: Ich glaub schon. Wenn du mal da an Pflanzenphys. denkst. In den Chloroplasten hatten wir doch die ganzen Transportproteine.*

*Vanessa: Das waren alles Moleküle, die von einem System in das andere mit Elektronenlücken - aber Proteine?*

*Michelle: Also das eine (unv.) Vakuole*

*Vanessa: Also klar - Chloroplasten haben auch Biomembranen und die bestehen ja aus Proteinen, aber so richtig was da drinne ist.*

*Michelle: Doch wir hatten doch die Thylakoidmembran - hatten wir doch. Nee, das ist ja der Elektronentransport, ne?*

*Vanessa: Ja.*

*Michelle: Ok, weiß ich jetzt nicht genau.*

*Vanessa: Kann ich mir jetzt gerade so nichts darunter vorstellen.*

*Michelle: Also ich weiß es nicht, ich kann es dir nicht sagen, aber theoretisch muss da trotzdem ein Transport stattfinden. Also von der (..)*

*Vanessa: Aber der Transport ist ja über die ganzen Elektronentransportketten. Hat ja nichts mit der Biomembran eigentlich zu tun, sondern nur (..)*

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_Michelle\_Vanessa: 157 - 166)

### *Michelles Anwendung von Wissen, um Konzepte zu identifizieren und um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren (Facetten 1 & 3)*

Die Diskussion zwischen Michelle und Vanessa bei der Aufgabe zur Dekonstruktion des Schulbuchtextes ist vor allem durch Verständnisschwierigkeiten gegenüber dem Text geprägt. Es zeigen sich zahlreiche fachliche Hürden (s. Abschnitt Lernhindernisse im Lernprozess von Michelle), deren Besprechung eine erhebliche Dauer der Bearbeitungszeit zufällt.

In der Lerngelegenheit zuvor wurden Open-Source-Materialien hinsichtlich ihrer fachlichen Angemessenheit geprüft. In der Lernaufgabe zur Dekonstruktion des Schulbuchtextes sollten hauptsächlich fachliche Konzepte und Reduktionen inklusive deren Folgen identifiziert werden und nicht primär fachliche Fehler. Michelle und Vanessa haben den Unterschied in der Aufgabenstellung nicht erfasst. In dem Fall, dass Reduktionen identifiziert werden, werden ausschließlich sektorale Reduktionen benannt.

*Michelle: Hier ist wieder die Reduktion, also die Kohlenhydrate und die Cholesterine, sowas fehlt natürlich. Also ich meine es ist ok reduziert für die Schule. Aber wir sollte hier ja auch: (liest*

vor) "Welche Folgen hat die Reduktion für die (...)"

Vanessa: Nee. Das haben wir nicht. Wir sollen nur herausfinden, ob da Fehler drin sind. Ja, aber sie [die Seminarleitung] hat gemeint im Grundprinzip sollen wir sagen, ob das Fehler drin sind oder nicht und halt kritisch formulieren, was wir dann sagen. (..)

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_Michelle\_Vanessa: 31 - 32)

Es wird außerdem über die Metapher der Biomembran als *zweidimensionale Flüssigkeitsschicht* diskutiert und zu welchen fachlich unangemessenen Vorstellungen die Verwendung dieser Metapher in Lehr-Lernkontexten führen kann. In Ansätzen ist hier also eine Einschätzung der fachlichen Folgen von Reduktion zu erkennen. Als (horizontale) Reduktion wird diese Metapher allerdings nicht explizit benannt, sondern es wird von einem allgemein fehlenden Verständnis für den Begriff *Flüssigkeitsschicht* ausgegangen.

Vanessa: (liest vor) "Zweidimensionale Flüssigkeitsschicht".

Michelle: Ich finde die Überschrift ein bisschen verwirrend. Also - es ist ja eigentlich dreidimensional. Vielleicht ein bisschen gewählt, oder einfach so "Biomembranen - ein Modell als zweidimensionale Flüssigkeitsschicht" oder so.

Vanessa: Flüssigkeitsschicht - darunter kann ich mir jetzt auch nichts vorstellen. Flüssigkeitsschicht kann ich mir vorstellen, wie die obere Schicht vom Wasser. (...)

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_KA04IN\_AL15HA: 46 - 48)

Als Konzept wird von den beiden einzig die Kompartimentierung erkannt. Die Relevanz des Konzepts wird im Text, laut Michelle und Vanessa, nicht genug hervorgehoben.

Michelle: Also es geht ja hier jetzt nur um den Grundaufbau und hier um die Kompartimentierung. Aber so richtig klar wird nicht, was Kompartimentierung ist. So nur "Kompartimentierung ermöglicht unterschiedliche Konzentrationsgradienten aufzubauen", aber so wirklich was das ist, wird nicht klar. (schreiben) (....)

(Transkript\_Audio\_Dekonstr\_KA04IN\_AL15HA: 45 - 45)

Innerhalb der erstellten Sachanalyse ist Michelle hingegen gut in der Lage, zentrale Konzepte als Kernaussagen zu formulieren und in Zusammenhang zu bringen. So bezeichnet sie beispielsweise den von ihr formulierten Satz „Endocytose ist die Aufnahmen von Stoffen durch Abschnürung von Vesikeln an der Plasmamembran“ (Sachanalyse\_SoSe17\_Michelle: 2: 219|699 - 2: 896|723) als Konzept. Weiterführend benennt sie allerdings vorrangig Basiskonzepte, wie „Kommunikation“ und „Information“ als Konzepte (Sachanalyse\_SoSe17\_Michelle: 2: 220|220 - 2: 934|245).

Ähnlich wie bei Claudia betreffen ihre im fachlichen Lerntext gekennzeichneten Reduktionen ausschließlich molekulare Strukturen, wie zum Beispiel die Hüllproteine von Vesikeln.

### *Michelles Selbsteinschätzungen zum Lernprozess*

Auch Michelle gab nach jedem Design-Experiment ein kurzes retrospektives Partnerinterview. Im Hinblick auf die Erstellung der Concept Map gab Michelle an, größtenteils auf ihr Schulwissen zurückgegriffen zu haben. Dementsprechend gibt sie an, ihr Wissen lediglich aufgefrischt und keine neuen Erkenntnisse beim Erstellen der Concept Map dazugewonnen zu haben (Interview\_C-Map\_Michelle: 7 - 9).

Die Relevanz der bei der Erstellung der Concept Map fachlich erarbeiteten Inhalte für die Ausübung ihres späteren Berufs nimmt Michelle als eher hoch wahr und begründet dies mit

der Bedeutung des fachlichen Inhalts für ein Verständnis wichtiger biologischer Prozesse (Interview\_C-Map\_Michelle: 9 - 9).

Bei der Lernaufgabe zur Dekonstruktion der Schulbuchtexte gab Michelle hingegen an, sowohl Schulwissen als auch universitäres Wissen verwendet zu haben. Sie gibt allerdings auch an, die Herkunft des Wissens nicht genau unterscheiden zu können. (Transkript\_Interview\_Dekonstr\_Michelle: 5 - 5). Die Relevanz der diskutierten fachlichen Inhalte schätzt sie als sehr hoch ein, wobei sie vor allem das Wissen und die Fähigkeit einer Lehrkraft, fachliche Fehler und die Folgen fachlicher Reduktion zu identifizieren, als berufsrelevant hervorhebt (Transkript\_Interview\_Dekonstr\_AL15HA\_KA04IN: 9 - 9).

Für die Erstellung der Sachanalyse hat Michelle vor allem Texte aus grundständigen Lehrbüchern zusammengefasst und sich weniger auf eigenes Wissen bezogen. Bei der Erstellung des Lerntextes hat sie sich daraufhin einerseits auf die Sachanalyse bezogen und andererseits auch auf ihre eigene Bildungsbiografie. Sie hat sich demnach in Erinnerung gerufen, was sie selbst zu diesem Thema in der Schule behandelt hat und danach ihren Lerntext ausgerichtet.

Bezüglich der Relevanz der fachlichen Inhalte nimmt Michelle die in der Sachanalyse beschriebenen Inhalte als „eher relevant“ wahr, fügt allerdings umgehend hinzu, dass sie für den Lerntext „viel reduzieren“ musste und daher einige Inhalte für weniger relevant hält (Transkript\_Interview\_Sachanalyse-Lerntext\_Michelle: 6 - 10). Für Michelle (wie für eine Vielzahl ihrer Mitstudierenden) besitzen demnach vor allem die Inhalte eine hohe Relevanz für die Ausübung ihres späteren Berufs, die Schüler\*innen lernen sollen.

### *Bedeutung der Einzelfallanalyse von Michelle für die Iteration*

Wie viele ihrer Mitstudierenden verwenden auch Michelle und Jana die Begriffe „Köpfchen“ und „Schwänzchen“ für die hydrophilen und hydrophoben Bereiche der Membranlipide. Die Verwendung dieser Begriffe kann zu animistischen Vorstellungen führen, welche die fachlich angemessenen Vorstellungen überlagern sich als persistent erweisen (s. Kapitel 7.3). Diese Metapher und Analogie wird in den folgenden Zyklen der Sitzung zur Auswertung der Dekonstruktionsaufgabe angesprochen. Als Beispiel wird hier Cholesterin für ein ebenfalls amphiphiles Membranlipid herangezogen, für welches sich allerdings die Kopf- und Schwanz-Metapher nicht eindeutig nachvollziehen lässt. Weiterhin wird auch die Stabilität von Vorstellungen im Rahmen der Auseinandersetzung mit Schülervorstellungen (vgl. Riemeier 2005) in Sitzung 3 thematisiert.

Die Funktion der Biomembran wird von Michelle vor allem auf die, der physiologischen Barriere reduziert. Die Biomembran als Ort für biochemischen Aktivität wird hingegen vernachlässigt. Diese Erkenntnis ist jedoch von essenzieller Bedeutung für ein Verständnis von beispielsweise Signaltransduktion oder dem energiekonservierenden Prinzip. Diese Funktion wird im Zuge der Iteration verstärkt hervorgehoben in der Diskussion um die fachliche Qualität der Open-Source-Materialien in Sitzung 3.

Auch Michelles Bemühungen Konzepte zu identifizieren und zu benennen, sind dadurch geprägt, dass die Bedeutung von Konzepten (insbesondere im Vergleich zu Basiskonzepten) nicht eingängig genug vermittelt werden konnte. Auch hier kann ein Bedarf an genauerer

Erläuterung und Abgrenzung über die Natur von Konzepten in Form von Good-Practice-Beispielen festgestellt werden.

### 16.1.3 Zusammenfassung vorgenommener Iterationen nach Zyklus 1

Die Iterationsschritte von einem zum nächsten Zyklus sind sehr vielschichtig. Daher werden im Folgenden nur die wichtigsten Änderungen nach dem ersten Zyklus beschrieben, die sich in konkreten Materialien, Aufgabenstellungen und in darstellenden Verbalisierungen durch die Seminarleitung widerspiegeln.

Bei der kooperativen Erstellung der Concept Map hat sich gezeigt, dass die Studierenden im unzureichenden Maß eigenständig auf Wissen aus dem universitären Bereich zurückgreifen. Die erstellten Concept Maps bleiben daher häufig auf schulischem Niveau. Die erwartete Verknüpfung von Schulwissen und universitären Wissen blieb häufig aus. Allerdings hat sich beispielsweise bei der Arbeitsgruppe von Claudia und Lisa gezeigt, dass sie durchaus in der Lage sind universitäres Wissen mit Hilfe von Literatur in das Wissensnetzwerk zu integrieren. Für den Zyklus 2 wurden daher Begriffe aus dem universitären Wissen vorbereitet, die in die kooperativ erstellte Concept Map integriert werden sollen.

Der Umfang der Aufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten hat sich als deutlich zu groß erwiesen. Die Leitfragen werden daher reduziert. Es hat sich herausgestellt, dass die Studierenden besonders auf die Leitfragen zur Identifikation von kritischen Formulierungen und zur hinreichenden Erläuterung von Fachbegriffen fokussiert waren. Ursprünglich wurde diese Leitfrage formuliert, um die Studierenden zur Identifikation von für das weitere Lernen problematische Reduktionen zu sensibilisieren. Die Studierenden nahmen jedoch häufig intuitive Einschätzungen vor, ob Schüler\*innen in der Lage wären die Formulierungen (oft anhand des sprachlichen Niveaus) zu verstehen. Diese Einschätzungen wurden zumeist unzureichend fachlich begründet. Der eigentliche Fokus der Aufgabenstellungen soll allerdings auf der Identifikation von Reduktionen und ihren fachlichen Folgen liegen. Die Leitfragen „Werden Fachbegriffe hinreichend erläutert?“ und „Welche Formulierungen haltet ihr aus welchen Gründen für kritisch?“ werden daher aus der Aufgabenstellung entfernt.

Auch die drei Leitfragen zum Umgang mit Konzepten („Welche Konzepte werden benannt? Inwiefern wird die Relevanz der Konzepte deutlich? Welche Konzepte könnt ihr ausmachen, die nicht explizit benannt sind? Sollten sie deutlicher gemacht werden?“) wurden im Zyklus 2 in die zweiteilige Leitfrage überführt „Welche Konzepte werden (explizit oder implizit) angesprochen und inwiefern wird die Relevanz dieser Konzepte deutlich?“



## 16.2 Zyklus 2: Sommersemester 2018

### 16.2.1 Tobias

Alter: 19

Abiturnote: 1,4

Modulnote „Molekulare und zelluläre Biologie“: 3,5

Vorlesung Zellbiologie: im Sommersemester 2017

#### *Einstellungen von Tobias zum Lehramtsstudium und zum Fachwissen*

Innerhalb der Einstellungsfragen zum subjektiven Professionalisierungsbegriff haben praktische Erfahrungen und Vorbilder für Tobias eine leicht höhere Bedeutung als das Fachwissen. Obgleich Tobias wahrnimmt, dass sich im Prüfungsumfang teilweise um Differenzierung zwischen Fach- und Lehramtsstudierenden bemüht wird, wünscht er sich zur Verbesserung des Studiums vor allem abschlussbezogene fachwissenschaftliche Veranstaltungen für Lehramtsstudierende.

Er schätzt sein biologisches Fachwissen als gleich zum dem der Kommilitonen ein. Sein zellbiologisches Fachwissen schätzt er allerdings als niedriger ein im Vergleich zu anderen Fachgebieten der Biologie. Tobias bewertet sein zellbiologisches Wissen auf Schulniveau als angemessen und das auf universitärem Niveau als eher niedriger.

Der von ihm angegebene Lernaufwand für die Zellbiologie-Vorlesung ist mit 0,5 h pro Woche Vor- und Nachbereitung und 2 Arbeitstagen Klausurvorbereitung geringer als der seiner Mitstudierenden (Vor und Nachbereitung in h/Wo  $M = 1,33$ ;  $SD = 1,37$  und Klausurvorbereitung in Arbeitstagen  $M = 5,64$ ;  $SD = 3,08$ ).

Die Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens schätzt er aufgrund vieler, von ihm so benannter, „irrelevanter Inhalte“ als gering ein. Im Gegensatz zu den universitär vermittelten Inhalten, hält er vor allem den Schulstoff für relevant. Dieser sollte seines Erachtens stärker in den Vorlesungen beleuchtet werden.

Das Interesse für universitäre Biologie ist im Verhältnis zu seinen Mitstudierenden durchschnittlich ausgeprägt ( $M = 2,86$ ;  $SD = 0,35$ ). Es gibt kaum einen Unterschied zwischen emotionalen und wertbezogenen Aspekten. Im Gegensatz dazu, ist das Interesse an der Schulbiologie sehr hoch ausgeprägt ( $M = 3,86$ ;  $SD = 0,35$  – höchster Wert der Stichprobe). An zellbiologischen Inhalten ist Tobias eher desinteressiert.

Innerhalb des universitären Lehramtsstudiums sollten seiner Meinung nach vor allem „irrelevante Inhalte und Details“ gekürzt werden. Als Beispiel nennt er die zoologischen und botanischen Systematiken. Ergänzt werden sollten hingegen Schulwissen, abschlussbezogene Vorlesungen und Praxis. Wobei er sich nicht genauer ausdrückt, ob er den Begriff *Praxis* auf Unterrichtspraxis oder fachwissenschaftliche Praxis (z.B. Laborpraktika) bezieht.

### Ergebnisse Prätest im Vergleich zum Posttest

Hinsichtlich der Einstellungen zum Fachwissen ändert sich Tobias Aussage im Posttest dahingehend, dass Tobias differenzierter antwortet. Im Gegensatz zum Prätest, in dem er vor allem das Schulwissen als relevant betrachtet, legt er nun ebenfalls Wert auf Prozesse und Konzepte aus dem universitären Wissen, damit man „besser begreift“. Dennoch betont er weiterhin, dass er ein Auswendiglernen der (von ihm als irrelevant empfundenen) Details für überflüssig hält.

*Tobias: Es ist schon, auf jeden Fall, relevant, weil ich letzten Endes ein Teil davon unterrichten muss und man sollte als Lehrer definitiv mehr wissen als die Schüler. [...]. An manchen Stellen ist es nur einfach ein bisschen zu viel. [...] Am wichtigsten sind immer die ersten zwei [Vorlesungen], wo noch einmal Abiturstoff wiederholt wird, weil das ist das was wir beibringen müssen und dann finde ich weiterführende (..) gerade in Zellbiologie, fand ich schon noch interessant darüber hinaus ein bisschen was über die Vorgänge zu erfahren z.B. mit den SNAREs, wie es sich aneinander binden kann. Dass man die Vorgänge besser begreift. Was ich übertrieben fand, ist jede einzelne Proteinfamilie, die daran beteiligt ist, dann wirklich mit Namen und Untergruppen und so, das braucht man nie wieder. Also für uns als Lehramter ist es, finde ich, Quatsch.[...] Ja, mehr Wissen auf die Vorgänge und weniger dann auch lexikonartiges Auswendiglernen von Vokabeln.*

(Transkript\_Laut\_Denken\_SoSe18\_Tobias: 35 - 38)

Der fachliche Lernpfad von Tobias zeichnet sich dadurch aus, dass Tobias zum Zeitpunkt des Prätests auf wenig Vorwissen zurückgreifen kann. Eine Vielzahl der von ihm geäußerten Konzepte stehen im Widerspruch zu fachlich angemessenen Vorstellungen. Des Weiteren war Tobias zum Zeitpunkt des Prätests auch mehrfach nicht in der Lage sich zu bestimmten zentralen Konzepten über die Struktur und Funktion der Biomembran zu äußern, die allerdings Voraussetzung für ein angemessenes Verständnis sind. Beispielsweise konnte Tobias sich nicht zur Dynamik der Kompartimentierung hinsichtlich der Membranfluidität und des Membranfluss äußern. Auch bezüglich der Bedeutung von Strukturunterschieden in Biomembranen konnte Tobias keine angemessene Aussage treffen.

Die Concept Map von Tobias, die er gemeinsam mit Paula erstellt hat, ist auf einem sehr niedrigen Niveau. Sie ist stellenweise fachlich nicht korrekt. Weiterhin ist die Beschriftung der Pfeile ist unpräzise. Die verwendeten Begriffe sind zum Teil alltagssprachlicher Natur. Das Wissen basiert überwiegend auf Schulwissen auf dem Niveau der Sekundarstufe I. Die zusätzlich durch die Seminarleitung hineingegebenen Begriffe aus dem universitären Wissen wurden ungenügend in die Concept Map eingebunden, was darauf zurückzuführen war, dass die Fachbegriffe unklar und/oder unbekannt waren. Es findet nur eine unzureichende Vernetzung des Wissens statt. Mit einem Gesamtscore von 68 Punkten ist die Concept Map von Tobias und Paula die am niedrigsten bewertete der gesamten Stichprobe.

Tabelle 34 Bewertungsergebnis der Concept Map von Tobias und Paula (Zyklus 2)

Kategorie Relation	Anzahl Verbindungen	Gesamtpunkte Verbindungen
Beschriftung fehlt	2	2
Beschreibung über Adjektive	0	0
Gruppenbildung	21	63
Hierarchie	1	3
Ursache-Wirkung	0	0
<b>Summe</b>	<b>24</b>	<b>68</b>

Im Posttest (Laut-Denken-Studie) war Tobias hingegen in der Lage, sich zu vielen für die Struktur und Funktion der Biomembran bedeutsamen Konzepten fachlich angemessen zu äußern. Nach dem Seminar bestanden allerdings noch immer fachlich unangemessene Vorstellungen über die ungesättigten Fettsäuren, das Endomembransystem, die Funktion der Kernhülle und die Hydrophobizität bei Membrandurchgängen. Insgesamt kann man allerdings davon sprechen, dass sich bei Tobias, ein deutlicher Zuwachs des abrufbaren Wissens zeigt.

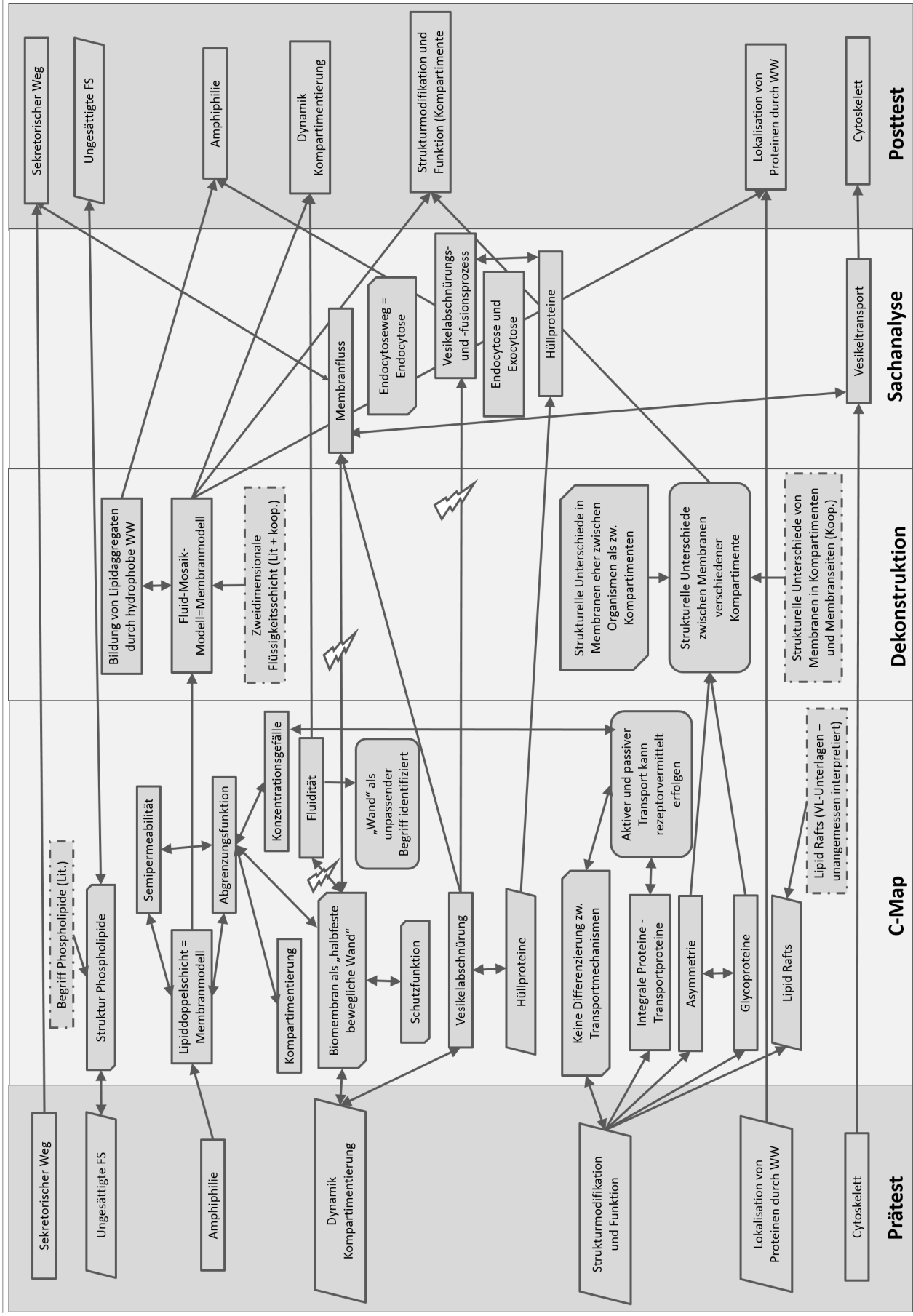


Abbildung 40 Lernpfad von Tobias zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 2)

### *Schlüsselstellen im Lernprozess von Tobias*

Die markanteste Stelle im Lernprozess ist wohl die, in der die Biomembran von Tobias als „halbfeste bewegliche Wand“ beschrieben wird. Bereits im Vorwissenstest war Tobias nicht in der Lage, eine Frage, die eine Erläuterung zur Dynamik der Kompartimentierung forderte, fachlich angemessen zu beantworten. Tobias behilft sich bei der Erstellung der kooperativen Concept Map mit der Metapher der *Wand*, um die Angrenzungsfunktion der Biomembran hervorzuheben. Diese Abgrenzungsfunktion wird von ihm allerdings als „Schutzfunktion“ beschrieben, was vom wissenschaftlichen Standpunkt her aus mehreren Gründen fragwürdig ist. Die Biomembran kann aufgrund ihrer Struktur keinen mechanischen Schutz bieten. Vor allem durch die Verbindung mit dem Begriff *Wand*, kann allerdings davon ausgegangen werden, dass Tobias von einer Art mechanischem Schutz ausgeht (und nicht wie, fachlich angemessen, von einer physiologischen Barriere). Diese Vorstellung stellt sich allerdings als ambivalent dar, weil ihm zeitgleich bewusst ist, dass die Bezeichnung *Wand* die Struktur und Funktionen der Biomembran nicht vollständig abbilden kann. Er fügt deshalb die Attribute „halbfest“ und „beweglich“ hinzu, um die Fluidität gewissermaßen mit einzubeziehen. Als zu einem späteren Zeitpunkt die Fluidität der Biomembran besprochen wird, erkennt Tobias, dass der Begriff *Wand* nicht geeignet scheint.

Tobias: *Ja, das ist eigentlich eine richtig Scheiß-Beschreibung. Da wusste ich aber nicht, wie ich es anders ausdrücken sollte. Weil es ist ja nicht wie ein Zellwand total verholzt und fest, sondern eher eine weiche Zellwand. Ich weiß nicht, ob man es so sagen kann.*

Paula: *Macht halt wahrscheinlich auch für die Kinder eher einen falschen Eindruck. Also keine Ahnung. Können wir einfach (...)*

Tobias: *Ist es hier irgendwo beschrieben?*

Paula: *Schwierig (...) eigentlich wird da ja immer einfach "Membran"<sup>25</sup> verwendet.*

Tobias: *Oder wenn man das einfach als (...)*

Paula: *Ja, wir machen dann über "Wand" dann Führungsstriche. (...) Wir können ja einfach erstmal hinschreiben und am Ende nochmal überlegen.*

[...]

Tobias: *Ich hab hier "Halbfeste aber bewegliche Wand".*

Paula: *Ok.*

Tobias: *„Beweglich“ klingt halt auch so, als würde die wandern (.) und man meint einfach nur, dass man die verformt. Vielleicht ist "verformbar" besser. (...) Weil sie sich ja einschnüren kann.*

Paula: *Egal, machen wir "weich" (.) also, wenn wir keinen anderen haben.*

Tobias: *Hauptsache wir kommen jetzt erstmal weiter. (...) So und dann hab ich das jetzt aufgeteilt einmal in Schutzfunktion und einmal in diese Membraneinschnürung.*

(Transkript\_CMap\_Tobias\_Paula\_SoSe18: 127 - 139)

Die Beschreibung der Biomembran als „beweglich“ kann (vom wissenschaftlichen Standpunkt her) durchaus gerechtfertigt werden. Für das Adjektiv „halbfest“ fällt dies jedoch eher schwer – Vor allem, wenn man sich die Konsistenz der Biomembran als öl-artig vergegenwärtigt. Von Tobias wird allerdings das Wort „beweglich“ in Zweifel gezogen. Für ihn impliziert es, dass die Biomembran „wandert“, was er für fachlich unangemessen hält. Bezieht man allerdings die von ihm auch benannte *Einschnürung* (die auch zur Abschnürung

---

<sup>25</sup> Der Begriff wird im Transkript in Führungsstriche gesetzt, um die besondere Betonung, die auf dem Wort liegt, zu kennzeichnen und um außerdem deutlich zu machen, dass es sich um einen Begriff handelt, der für die Concept Map verwendet werden soll. Das gleiche gilt für die anderen Begriffe, die in dem Transkript für die Erstellung der kooperativen Concept Map in Führungsstriche gesetzt sind.

führen kann) mit ein, so entpuppt sich der Begriff „wandern“ im Sinne der Dynamik der Kompartimentierung wissenschaftlich als sinnvoll.

Die Wortgruppe „halb feste bewegliche Wand“ wird dennoch in der angefertigten Concept Map belassen und der Begriff „Wand“ wird in Anführungsstriche gesetzt. Obgleich das Ergebnis aus Zeitgründen (oder aus Gründen einer Vermeidungsstrategie heraus) nicht einer wissenschaftlich angemessenen Beschreibung entspricht, konnte sich Tobias dennoch dezidiert mit den Schwierigkeiten der Beschreibung der Struktur der Biomembran auseinandersetzen. Dies kommt ihm innerhalb der nächsten Lernaufgabe, der Dekonstruktion der Schulbuchtexte, zugute. Hierbei stellt ein Mitstudent eine Verständnisfrage hinsichtlich der fluiden Struktur der Biomembran

Yunus: *Ich muss sagen, ich verstehe nicht was die hier mit sagen wollen. [...]*

Tobias: *Das durch diese wässrig polare Phase, was hier als Wasser beschrieben wird, ordnet sich die Lipidschicht immer in diese kompakten Doppelschichten und solange dieses wässrige Milieu da ist, wird sich das nicht auflösen. Also die bleibt konstant, die kann sich nicht einfach mal trennen. Es sei denn du verwendest irgendwelche Mittel, die das zerstören. Ansonsten geht das nicht.*

Yasmin: *Es wird sich nicht von alleine einfach so wieder trennen.*

Tobias: *Aber trotzdem kann sich da drin noch alles bewegen. Es ist nicht fest in seinen Grenzen.*

Yunus: *Achso. Also die wollen einfach sagen die Lipiddoppelschicht bleibt fest.*

Tobias: *Also die löst sich nicht.*

Yunus: *Genau. Aber die Lipide und Proteine da drin, die sind nicht fest...*

Tobias: *...an ihrem Platz verankert. Ja.*

Yasmin: *Die behalten ihre Ausrichtung bei, aber bewegen sich so. (...) Es ist aber Fluid-Mosaik-Modell. [...]*

(Transkript\_Audio\_Dekont\_Tobias\_Yasmin\_Yunus: 181 - 190)

Tobias erklärt hier sein Verständnis von der Struktur der Biomembran hinsichtlich des Zusammenhalts der Phospholipide durch ihre Ausrichtung innerhalb eines wässrigen Milieus. Er korrigiert auch die Wortwahl von Yunus, der die Biomembran als „fest“ beschreibt mit: „[die Biomembran] löst sich nicht auf“. Gleichzeitig bezieht er die laterale Beweglichkeit der Phospholipid- und Proteinmoleküle mit ein und beschreibt so das Fluid-Mosaik-Modell in seinen Grundzügen, was von Yasmin sogleich als Konzept erkannt wird.

### *Lernhindernisse im Lernprozess von Tobias*

Ein wichtiges Lernhindernis von Tobias ist die stabile Vorstellung von der „Schutzfunktion der Biomembran“. Dadurch fällt es Tobias bis zuletzt sehr schwer, die Fluidität der Biomembran gänzlich zu begreifen.

Tobias: *[...] und jetzt hab ich als einziges noch, die "Wand" an sich, die halt auch eine Schutzfunktion zur Zelle, die formgebende Funktion hat.*

(Transkript\_CMap\_Tobias\_Paula\_SoSe18: 119 - 119)

Auch der Zusammenhang der „Schutzfunktion“ der von ihm so benannten „formgebenden Funktion“ stellt sich bei ihm als Lernhindernis dar. Es deutet auf ein größtenteils mechanisches Verständnis von „Schutz“ hin. Die Formgebung einer Zelle wird (vom wissenschaftlichen Standpunkt her) größtenteils durch das Cytoskelett und dem Zellcortex vermittelt. Bei der Beschreibung der Herkunft des Wissens gibt Tobias an, sein Wissen über die „Schutzfunktion“ der Biomembran in der Schulzeit erworben zu haben. Diese Vorstellung über die Schutzfunktion überlagert die Vorstellung von der Biomembran als bedeutenden

Ort biochemischer Interaktion. Eine wissenschaftlich angemessene Vorstellung über dieses Konzept ist allerdings ein Schlüssel für das Verständnis über essenzielle physiologische Funktionen und Prozesse.

Des Weiteren stellt sich auch das Unverständnis über die molekulare Struktur von Lipiden und teilweise auch Proteinen als problematisch für ein tieferes Verständnis über Struktur und Funktion der Biomembran heraus. Auch aus diesem Grund ist es Tobias meistens nicht möglich, über das Schulwissen hinaus fachlich zu argumentieren. Durch größere Wissenslücken in diesem Bereich gelingt es Tobias bis zum Zeitpunkt des Posttests nicht, die Bedeutung gesättigter und ungesättigter Fettsäuren innerhalb biologischer Membranen zu erklären. Dies zeigt sich an der folgenden fachlich unangemessenen Aussage im Posttest (Laut-Denke-Studie):

*Tobias: [...]. Da war ich mir, glaube ich, auch nicht ganz sicher mit den ungesättigten Fettsäuren. (...) Ich überlege gerade, ob ich von der Ernährung (...) Weil da soll man eigentlich ungesättigte Fettsäuren zu sich nehmen, weil die, glaube ich, können die besser verdaut werden? Und dementsprechend (...) besser mit Temperaturen oder so reagieren? Was dann bedeuten würde, dass Tiere in heißen, da wäre es unpraktisch, wenn die z.B. schneller gerinnen oder so. [...]*

(Transkript\_Laut\_Denken\_SoSe18\_Tobias: 103 - 103)

### *Tobias Anwendung von Wissen, um Konzepte zu identifizieren und um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren (Facetten 1 & 3)*

In der Lernaufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten benennt Tobias zunächst die Kompartimentierung als offensichtliches Konzept.

*Tobias: Ok. Dann haben wir jetzt hier erst schon die Kompartimentierung das erste Mal erwähnt. Auch wenn sie danach mehr darauf eingehen.*

(Transkript\_Audio\_Dekont\_Tobias\_Yasmin\_Yunus: 5 - 5)

Die Diskussion um die vorhandenen Konzepte im Text wird im Verlauf der Aufgabenbearbeitung jedoch differenzierter, indem nicht ausschließlich auf die Basiskonzepte eingegangen wird. Im folgenden Zitat wird das Konzept der Biomembran als zentraler Ort für die Signaltransduktion besprochen. Hierdurch wird deutlich, dass die Gruppe nicht ausschließlich von sprachlichen Hinweisen (z.B. Basiskonzept oder Prinzip) zur Bestimmung von Konzepten ausgeht, sondern von biologisch bedeutsamen inhaltlichen Aussagen.

*Tobias: Dieses mit Stimulierung und Hemmung klar, das wird manchmal durch Schlüssel-Schloß-Prinzip aktiviert und deaktiviert. Durch Inhibitoren und Aktivatoren. Aber das steht auch nicht da.*

*Yasmin Aber das (unv.) bei Reaktionen. Also Reaktionen innerhalb der Reaktionsräume.*

*Tobias: Naja gut. Wie nennt man das denn? Als Überbegriff?*

*Yasmin: Was? Das was jetzt hier erklärt wird?*

*Yunus: Ist das nicht Signaltransduktion oder Signalkaskade mit Hemmung bzw....?*

*Yasmin Eigentlich ja. (Unv.) wenn es dann mit Genaktivität und Stimulierung und so etwas hat.*

*Tobias: Ok, das ist gut. [...]*

(Transkript\_Audio\_Dekont\_Tobias\_Yasmin\_Yunus: 43 - 49)

Dies wird auch zusätzlich deutlich, in dem von Tobias und seinen Arbeitsgruppenmitgliedern auch die Struktur der Biomembran als Lipiddoppelschicht aufgegriffen wird.

Tobias: *Ich würde jetzt, glaube ich, auch das mit der Lipiddoppelschicht (.) ist das nicht ein Konzept?*

[...]

Yasmin *Ja, allgemeine zentrale Kernaussagen.*

(Transkript\_Audio\_Dekont\_Tobias\_Yasmin\_Yunus: 126 - 131)

Bezüglich der Identifikation von Reduktionen gelingt es Tobias und seinen Arbeitsgruppenmitgliedern, eine Reduktion und die fachlichen Folgen dieser zu identifizieren. Es wird hier festgestellt, dass der Schulbuchtext das Medium, in dem sich Phospholipide zu einer Lipiddoppelschicht zusammenlagern, als „Wasser“ bezeichnet (Beyer 2013, S. 54). Tobias stellt fest, dass es sich in einer Zelle bestenfalls um ein wässriges Milieu und nicht um reines Wasser als Medium des intra- und extrazellulären Raums handelt.

Tobias: *Ich würde tatsächlich das ‚im Wasser‘ (.) würde ich als falsch markieren, weil es geht um wässriges Milieu, weil du sehr selten in den Zellen Wasser hast.*

Yunus: *Wo jetzt?*

Yasmin *Hier. Im zweiten Absatz. Es suggeriert, dass in allen Zellen (unv.) überall wirklich Wasser ist und sich dann diese Membran bildet.*

Tobias: *An sich ist es ja nicht falsch, dass es das im Wasser tut.*

Yasmin *Aber...Ja das ist nicht falsch, aber das vermittelt, glaube ich, eine falsche Idee.*

Tobias: *Ja, unsere Zellen bestehen nicht aus, also auch, aber es ist kein pures Wasser. Wir haben da kein Volvic drin oder so.*

Yasmin: *Wollen wir es rot machen oder wollen wir es gelb und dann sozusagen Metapher und dann fachlich angemessen und dann ‚Nein‘.*

Tobias: *Ja gut, das ist keine Metapher. Es ist in den Zellen drin. Es ist einfach...*

Yunus: *Oder man macht einfach Reduktion daraus.*

(Transkript\_Audio\_Dekont\_Tobias\_Yasmin\_Yunus: 132 - 140)

Bei der Erstellung der Sachanalyse ist Tobias schließlich außerordentlich gut in der Lage, Konzepte eigenständig zu benennen, die als Grundlage für das Verständnis zum Stofftransport in der Zelle über Vesikel gelten. Er beschreibt als zentrale Konzepte den aktiven Transport, die Fluidität von Membranen, die Kompartimentierung, die Biomembran als physiologische Barriere, das Schlüssel-Schloss-Prinzip und das Cytoskelett als Transportelement.

Reduktionen im Lerntext nimmt Tobias vor allem sektoral vor. Er verzichtet auf die Erläuterung der Funktionsweise verschiedener Proteine beim Vorgang der Vesikelfusion (Lerntext\_SoSe18\_Tobias: 1: 668|559 - 1: 945|619). Gleichzeitig erkennt er den Zusammenhang von sektoraler Reduktion und der Möglichkeit des Aufbaus von Wissen. Weitere Reduktionen benennt er in seinem erstellten Lerntext allerdings nicht.

### *Selbsteinschätzungen zum Lernprozess – Interviewergebnisse von Tobias*

Tobias gibt als Herkunft für das zur Erstellung der Concept Map verwendete Wissen die Schulzeit an. Inhalte, die in der Universität vermittelt wurden, sind kaum in die erstellte Concept Map eingeflossen. Weiterhin gab er aber auch an, Schwierigkeiten mit der Einordnung der durch die Seminarleitung hinzugegebenen Begriffe aus dem universitären Fachwissen gehabt zu haben. Die Begriffe waren ihm größtenteils nicht (mehr) geläufig.

Die durch die gemeinsame Concept Map abgebildeten fachlichen Inhalte hält Tobias für sehr relevant für die Ausübung seines späteren Berufs. Das begründet er damit, dass es sich um Schulwissen handelt, was er tatsächlich später unterrichten muss.



Für nicht relevant hält er hingegen Inhalte, die ihm selbst nicht aus seiner eigenen Schulzeit bekannt waren (Transkript\_Interview\_C-Map\_Tobias: 4 - 12). Auch hier zeigt sich, wie bei vielen Seminarteilnehmenden, dass die Relevanz fachlicher Inhalte zur Ausübung des späteren Berufs an der eigenen Bildungsbiographie festgemacht wird.

Für die Lernaufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten gibt Tobias an, Schulwissen angewendet zu haben. Als es schließlich um die Auswertung ging und einige Punkte im Text deutlich gemacht wurden, die von seiner Gruppe nicht bearbeitet wurden, gibt er an, auch universitäres Wissen benötigt zu haben. Wie auch schon bei der Erstellung der Concept Map begründet Tobias auch hier die Relevanz der fachlichen Inhalte für die Ausübung seines späteren Berufs mit dem Schulwissen. (Transkript\_Interview\_Dekonstr\_Tobias: 18 - 18)

Im Interview nach der Erstellung der Sachanalyse und des Lerntextes gab Tobias an, für die Darstellung der übergeordneten Konzepte sein Schulwissen herangezogen zu haben. Die molekularen Prozesse habe er hingegen in den Vorlesungsunterlagen und den zur Verfügung gestellten Lehrbuchtexten nachgeschlagen. Tobias bezeichnet auch die von ihm beschriebenen Inhalte aus der Sachanalyse, die dem universitären Wissen zuzuordnen sind, als relevant für seinen späteren Beruf. Als Begründung führt er hier mögliche tiefergehenden Fragen von Lernenden an. Auf diese sollte eine Lehrkraft in der Lage sein, einzugehen.

### *Bedeutung der Einzelfallanalyse von Tobias für Iteration*

Die von Tobias geäußerte Vorstellung der Biomembran als Wand wurde als Anlass genommen, um eine Lernangebot bereitzustellen, von dem sich ein Konzeptwechsel versprochen wird. Auch die Vorstellung von der Biomembran als stabilisierendes Element der Zelle, die ebenfalls von Mitstudierenden der gleichen oder der vorhergehenden Kohorte geäußert wurde, wird darin aufgegriffen. In diesem Lernangebot wird den Studierenden ein Schulbuchausschnitt (Gemballa und Markl 2010, S. 51) präsentiert, indem die Zelle mit einer Wohnung und die Biomembranen mit Wänden verglichen werden. Anhand des Textes wird die Eignung dieser Metapher für die Beschreibung der Struktur und Funktion von Biomembranen diskutiert.

Des Weiteren zeigen sich bei Tobias generelle Verständnisschwierigkeiten, vor allem was das universitäre Wissen angeht. Tobias äußert mehrmals in der Lerngelegenheit zur Concept Map, dass er fachliche Sachverhalte „vergessen“ habe. Es wird demnach im Zuge der Iteration ein weiteres Angebot zur Reaktivierung des Wissens über die Struktur und Funktion der Biomembran unterbreitet. Im Zyklus 3 wurden die Studierenden zu Beginn der Lehrveranstaltung aufgefordert, kurze Textausschnitte aus Campbell und Reece (2011, S.164-170; 182-183) zu lesen und dadurch ihr Wissen zu reaktivieren.

Bei der Lernaufgabe zur kooperativen Erstellung der Concept Map greifen Tobias und Paula (trotz explizit geäußerter Wissenslücken) wenig auf die bereitgestellte (vorstrukturierte und reduzierte) Literatur zurück. Dies lag auch an der Aufgabenstellung, die vorsieht, dass vorerst das eigene Wissen genutzt werden sollte. Die Erläuterung zur Aufgabestellung wird dementsprechend geändert, dass die Studierenden bereits bei auftretenden Unsicherheiten oder Uneinigkeiten aufgefordert werden auf die Literatur zurückzugreifen.

Durch die Wahrnehmung der Lerngelegenheit zur Dekonstruktion von Tobias, Yasmin und Yunus hat sich gezeigt, dass eine dem Lernziel angemessene Diskussion dadurch erfolgen kann, dass sich an konkreten Inhalten festgehalten wird. Dies erfordert allerdings eine entsprechende Bearbeitungszeit für die Aufgabe. Da die Gesamtbearbeitungszeit aufgrund der begrenzten Zeit für eine Lehrveranstaltungssitzung nicht verlängert werden kann, wird die Aufgabe reduziert, in dem im folgenden Zyklus zwei im Text identifizierte Reduktionen ausgewählt werden sollen. Anhand dieser konkreten Reduktionen sollen die möglichen Folgen für das fachliche Lernen inhaltsorientiert diskutiert werden.

Tobias und eine Vielzahl seiner Mitstudierenden (vgl. z.B. Lerntext von Yasmin) kennzeichneten im Lerntext nur sehr wenige Reduktionen. Zumeist werden nur ein bis zwei sektorale Reduktionen gekennzeichnet. Da die Identifikation von Reduktionen jedoch ein zentrales Lernziel darstellt, wird die Aufgabenstellung im Zyklus 3 dementsprechend geändert, dass eine Mindestanzahl von drei Reduktionen benannt werden soll.

## 16.2.2 Yasmin

Alter: 20

Abiturnote: 1,7

Modulnote „Molekulare und zelluläre Biologie“: k.A.

Vorlesung Zellbiologie: im Sommersemester 2017

### *Einstellungen von Yasmin zum Lehramtsstudium und zum Fachwissen*

Yasmin ist den fachwissenschaftlichen Studienanteilen im Großen und Ganzen positiv gegenüber eingestellt. Ein gemeinsames Studium mit Fachstudierenden nimmt sie als Chance für ein hohes Fachwissen wahr, würde sich allerdings eine stärkere Differenzierung im Hinblick auf die Anforderungen des Berufs als Lehrkraft wünschen.

*Yasmin: Ich denke, es ist wichtig, dass zukünftige Lehrer ein fundiertes Fachwissen in ihrem Fach aufweisen. Es sollte immer über den Stoff hinausgehen, der Schülern vermittelt wird. Allerdings wäre es gut, wenn dabei noch gezielter auf die späteren Anforderungen im Lehrerberuf eingegangen wird.*

(Prätest\_SoSe2018\_Yasmin: 14 - 14)

Wie die meisten ihrer Mitstudierenden misst auch Yasmin praktischen Erfahrungen eine höhere Bedeutung für das Lehrerhandeln bei als dem Fachwissen und dem Hochschulstudium. Eigene Erfahrungen sind für Sie zudem auch wichtiger als die Orientierung an Vorbildern.

Ihr eigenes Fachwissen schätzt sie als gleich zu dem ihrer Mitstudierenden ein. Ebenso schätzt sie ihr zellbiologisches Fachwissen als gleich zu ihrem Fachwissen in anderen Gebieten der Biologie ein. Die meisten Studierenden der Stichprobe schätzen ihr zellbiologisches Fachwissen hingegen eher niedriger im Vergleich zu anderen Fachgebieten der Biologie ein.

Ihr Abiturwissen in der Zellbiologie bewertete sie als hoch und ihr universitäres Wissen als angemessen. Damit liegt sie über dem Durchschnitt der Probanden, die ihr universitäres Wissen über Zellbiologie als eher niedriger angeben.

Der Zeitaufwand für die Vor und Nachbereitung der Vorlesung (2 h/Wo) und für die Klausur am Ende (7 Tage) liegt im oberen Bereich der Gesamtstichprobe (M = 1,33h/Wo, SD = 1,37 h/Wo und M = 5,64 Tage, SD = 3,08 Tage).

Das Interesse an universitärer Biologie liegt mit einem Wert von M = 2,71, SD = 0,7 (4-stufige Likert-Skala) im Durchschnitt der Stichprobe (M = 2,71; SD = 0,17), ist aber insgesamt niedriger ausgeprägt. Dabei sind die wertbezogenen Aspekte (z.B. „Biologie, die in der Universität vermittelt wird, ist mir wichtig“) höher ausgeprägt, als die emotionalen Aspekte (z.B. „Biologie, die in der Universität vermittelt wird, ist spannend“). Für das Schulwissen weist sie ein hohes Interesse (sowohl in den wertbezogenen als auch in den emotionalen Valenzen) auf (M=3,7, SD=0,45).

Im Hinblick auf das fachwissenschaftliche Studium wünscht sich Yasmin mehr Differenzierung innerhalb der Lehrveranstaltungen in Bezug auf das spätere Berufsfeld.

### Ergebnisse im Prätest im Vergleich zum Posttest bei Yasmin

Hinsichtlich ihrer Einstellung zum Fachwissen zeigt sich bei Yasmin kaum eine Änderung im Antwortverhalten beim Posttest im Vergleich zum Prätest. Yasmin hat sich bereits im Prätest für eine stärkere Differenzierung zwischen Lehramts- und Fachstudierenden in den fachlichen Studienanteilen ausgesprochen. Sie präzisiert dies noch einmal im Posttest, indem Sie verdeutlicht, dass sie sich nicht unbedingt eigene Lehrveranstaltungen für Lehramtsstudierende wünscht, sondern eine Differenzierung innerhalb der Lehrveranstaltungen, die sich wiederum auch in den Prüfungsanforderungen zeigt.

Yasmin weist (im Vergleich zu ihren Mitstudierenden) bereits im Vorwissenstest ein hohes Fachwissen auf. Es bestehen bereits zu vielen Konzepten angemessene Vorstellungen (Amphiphilie, Membranfluss, Endomembransystem, Stofftransport durch Golgi, Strukturmodifikationen).

Die Concept Map, die Yasmin gemeinsam mit Katharina und Yunus erstellt hat, weist größtenteils fachlich angemessene Konzepte auf. Die Beschriftung der Pfeile ist jedoch z.T. fachlich unpräzise. Die Gruppe hat eine hohe Anzahl an Begriffen eingearbeitet und nahezu alle durch die Seminarleitung hinzugegebenen Begriffe wurden gut verknüpft. Das begründet den vergleichsweise hohen Score von 106 Punkten. Das universitäre Wissen und das Schulwissen sind relativ gleichmäßig verteilt, obgleich eine Tendenz zum Schulwissen vorhanden ist. Auch hier ist die Vernetzung des Wissens eher gering.

Tabelle 35 Bewertungsergebnis der Concept Map von Yasmin, Katharina und Yunus (Zyklus 2)

Kategorie Relation	Anzahl Verbindungen	Gesamtpunkte Verbindungen
Beschriftung fehlt	2	4
Beschreibung über Adjektive	0	0
Gruppenbildung	28	84
Hierarchie	6	18
Ursache-Wirkung	0	0
<b>Summe</b>	<b>36</b>	<b>106</b>

Die von Yasmin bereits im Prätest als angemessen beschriebenen Vorstellungen kann sie in der Laut-Denken-Studie ausdifferenzierter beschreiben. Einige im Vortest fachlich unangemessen beschriebene Konzepte (beispielsweise zum sekretorischen Weg durch die Zelle, zur Hydrophobizität von Membrandurchgängen, zu Sekundärstrukturen von Proteinen oder zur Funktion vom Cytoskelett) stellte Yasmin in der Laut-Denken-Studie als fachlich angemessen dar. Nach dem Seminar bestanden allerdings noch immer fachlich unangemessene Vorstellungen über die Limitation der Zellgröße, ungesättigte Fettsäuren und das Verhältnis von Organell zu Kompartiment.

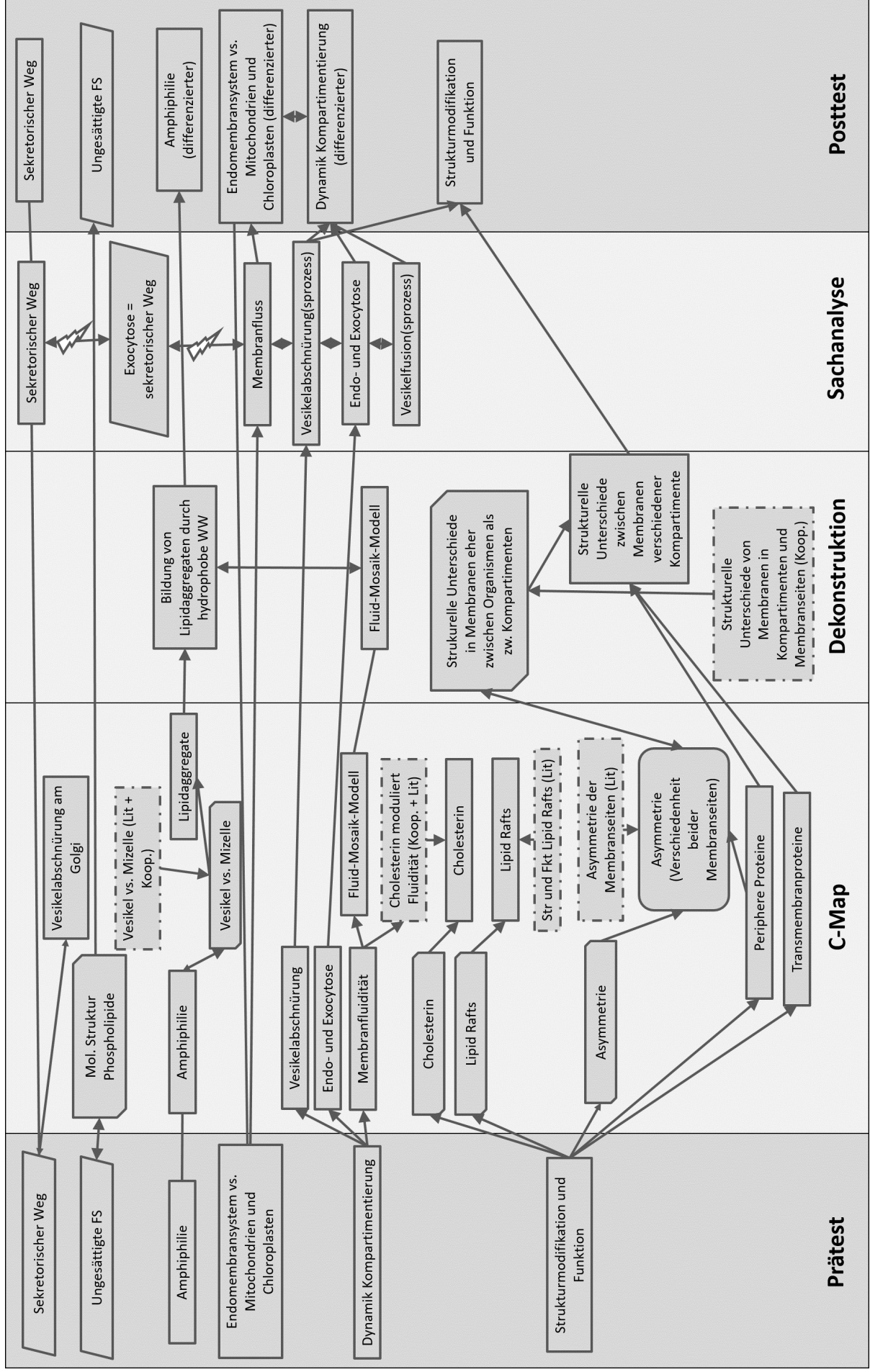


Abbildung 41 Lernpfad von Yasmin zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 2)

### *Schlüsselstellen im Lernprozess von Yasmin*

Eine besonders markante Stelle im Lernprozess von Yasmin betrifft ein Konzept, welches auf den Zusammenhang von strukturellen Unterschieden in verschiedenen Biomembranen und deren Auswirkungen auf die Funktion der Biomembran abzielt. Zum Zeitpunkt des Prätests ist Yasmin in der Lage bestimmte Membranstrukturen zu nennen und einen Funktionszusammenhang darzustellen (z.B. Membranproteine, die als Ionenkanäle dienen und durch Öffnen einen Ladungsausgleich innerhalb und außerhalb der Zelle herbeiführen). Bei der kooperativen Erstellung der Concept Map ist es Yasmin jedoch nicht möglich, einen Funktionszusammenhang zu bestimmten Membranstrukturen wie Lipid Rafts oder Cholesterineinlagerungen herzustellen. Hier behilft sich Yasmin, indem sie gemeinsam mit ihrem Mitstudierenden die Vorlesungsunterlagen zu Rate zieht.

Auch die Eigenschaft der Asymmetrie der Biomembran kann Yasmin nicht auf Anhieb erläutern. Mit Hilfe ihrer Gruppenmitglieder und mit Bezugnahme auf unterschiedliche Abbildungen aus der Vorlesung gelingt es ihr allerdings, sich das Konzept der Asymmetrie der Biomembran zu erschließen.

*Katharina: Ok, Asymmetrie - weiß ich nicht.*

*Yunus: Keine Ahnung. (...) [...]*

*Yasmin: Asymmetrie der Membranseiten steht hier, als vielleicht, dass außen und innen halt unterschiedliche Strukturen haben.*

*Katharina: Vielleicht hat das auch was mit den integralen und peripheren Membranproteinen zu tun?*

*Yunus: Stimmt.*

*Yasmin: Könnte auch sein.*

*Yunus: Und dann noch mit diesen Zuckerketten.*

*Katharina: Dass die nicht gleichmäßig angeordnet sind, vielleicht?*

*Yasmin: Ja und auch vielleicht, welche Rezeptoren auf welcher Seite sind, um besondere Kanäle zu aktivieren, vielleicht? [...]*

*Katharina: Was soll ich denn da noch dazu machen? Rezeptor? (...) Ok.*

*Yasmin: Das sind Verschiedene.*

*Yunus: Achso, hier steht: Asymmetrisch, weil im Zellinneren die Oberfläche ganz anders ist als die Oberfläche am Zelläußeren.*

*Yasmin: Hier, wenn man hier auf die Abbildung guckt, dann ist da hier auch unterschiedlich dargestellt, was für Phospholipide innerhalb und außerhalb der Membran liegen.*

*Yunus: Stimmt.*

*Yasmin: Und das sind unterschiedliche, die haben verschiedene Namen.*

(Transkript\_Audio\_CMap\_Yasmin\_Katharina\_Yunus\_SoSe18: 310 - 332)

Zur Erklärung der Asymmetrie der Biomembran kann sich darauf bezogen werden, dass sich die Innenseite der Doppellipidschicht strukturell und funktionell von der Außenseite unterscheidet. Die Funktionen von integralen und peripheren Membranproteinen sowie die der Kohlenhydratseitenketten wurden sich bereits im Vorfeld erschlossen. Darauf konnte hier zurückgegriffen werden. Weiterhin fallen Yasmin auch in einer Abbildung die unterschiedlichen Arten von Membranlipiden auf, die sich in den verschiedenen Membranseiten befinden. Insofern wird sich das Konzept der Asymmetrie sowohl mithilfe der Literatur als auch interpretativ erschlossen.

Das hier erarbeitete Konzept kann auch in einer weiteren Lerngelegenheit genutzt werden. Bei der Lernaufgabe zur Dekonstruktion eines Schulbuchttextes stoßen Yasmin und ihre Arbeitsgruppenmitglieder (Yunus und Tobias) auf eine Formulierung, die unterschiedlichen Membrantypen verschiedene Aufgaben zuspricht. Diese Formulierung empfinden Yasmin und Yunus als unverständlich. Sie schlussfolgern daraus, dass die Membranen in

verschiedenen Organismen unterschiedlich aufgebaut sind, innerhalb dieser Organismen allerdings wieder gleich. Diese Vorstellung ist fachlich nicht angemessen. Zwar gibt es auch zwischen Membranen verschiedener Organismen durchaus Unterschiede, aber auch innerhalb des Organismus sind die Membranen verschiedener Kompartimente durchaus unterschiedlich aufgebaut. Tobias erläutert daraufhin, dass damit vermutlich auch die Asymmetrie der Biomembran gemeint sein kann und bezieht sich damit auf ein zuvor erarbeitetes Konzept, welches von Yasmin und Yunus gut nachvollzogen werden kann.

*Yunus: Dann finde ich auch je nach Aufgabe des Membrantyps (...). Haben die nicht fast alle die gleiche Aufgabe?*

*Yasmin: Darüber habe ich auch nachgedacht. Wieviel verschiedene Membrantypen und verschiedene Aufgaben.*

*Yunus: Je nach Organismus unterscheiden sie sich schon.*

*Yasmin: Ja aber das kann man sagen, das ist ein anderer Organismus und die Membran innerhalb dieses Organismus ist dann wieder ähnlich.[...] Und dann gehen sie weiter mit ,der Grundaufbau ist jedoch gleich. Das heißt eigentlich meinen sie, dass der Aufbau gleich ist, aber trotzdem gibt es Unterschiede.*

*Tobias: Na die Unterscheidung ist wahrscheinlich so, dass einfach damit gemeint ist, der Grundaufbau...Du hast über deine Köpfchen und Schwänzchen...Nein Phospholipide und dann hast du immer diese integralen Proteine. Das ist ungefähr das Gleiche, aber z.B. wirst du an der Außenmembran mehr Proteine haben die vielleicht Natrium-Kalium-Pumpen sind als du es innen hast, weil außen die (Erregung?) stattfindet oder...[...]*

*Yasmin: Das ist ein bisschen ungünstig aufgeschrieben.*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_KA22IN\_RE17AM\_JA08IN1: 78 - 81)

Die strukturelle Verschiedenheit von Membranen unterschiedlicher Kompartimente, kann auch im Posttest von Yasmin beschrieben und mit Beispielen untermauert werden. Sie bezieht sich hier auf die Membranen des Endomembransystems und die Plasmamembran und verdeutlicht strukturelle Unterschiede im Zusammenhang mit dem vesikulären Transport.

Auffällig ist, dass Yasmin häufiger als ihre Mitstudierenden Literatur zu Rate zieht und dabei Texte und Abbildungen schnell verstehen und deuten kann. Dies hilft ihr in vielen Fällen auch in begrenzter Zeit eine fachlich angemessene Lösung zu finden.

### *Lernhindernisse im Lernprozess von Yasmin*

Lernhindernisse treten bei Yasmin, aufgrund eines guten Vorwissens weniger offensichtlich zutage. Jedoch stellt sich, wie auch bei Tobias, für Yasmin die molekulare Struktur von Membranbestandteilen als Lernhindernis dar. Yasmin ist sowohl im Prä- als auch im Posttest nicht in der Lage, die Funktion von gesättigten und ungesättigten Fettsäuren für die Biomembran zu benennen. Die amphiphile Struktur kann Yasmin zwar in ihren Grundzügen beschreiben, die molekulare Struktur hingegen, die vermehrt auch in Biologie-Schulbüchern für die Oberstufe auftaucht, kann sie allerdings nicht aufklären.

*Yasmin: Und der Kopf - genau - mit den Schwänzen da dran. [...] Der Schwarz war lipophil. Das waren ja dann diese Fettsäurereste. [...] Und das Köpfchen war hydrophil. (...)*

(Transkript\_Audio\_CMap\_CL27IN\_RE17AM\_JA08IN1\_SoSe18: 38 - 74)

Trotz der sprachlichen Ungenauigkeiten („Köpfchen“ und „Schwänzchen“), die auch bei einer Vielzahl ihrer Mitstudierenden auftauchen, ist das Prinzip richtig beschrieben, geht allerdings nicht über das Niveau der Sekundarstufe I hinaus.

### *Yasmins Anwendung von Wissen, um Konzepte zu identifizieren und um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren (Facetten 1 & 3)*

Yasmin befand sich bei der Bearbeitung der Lernaufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten in der gleichen Gruppe wie Tobias. Dementsprechend gelten auch hier die gleichen Aussagen zur Identifikation von Konzepten, Reduktionen und ihren Folgen.

Bei der Erstellung der Sachanalyse und des fachlichen Lerntextes benennt Yasmin den allgemeinen Aufbau der Zelle, den Aufbau der Biomembran als Lipiddoppelschicht, die Bildung von Reaktionsräumen, die Vesikelabschnürung und die Vesikel als Transportmechanismus als zentrale Konzepte. In diesem Sinne ist auch Yasmin in der Lage, Konzepte aufgrund ihres fachlichen Inhalts als solche zu benennen und nicht anhand von rein sprachlichen Merkmalen, wie es beispielsweise noch bei Michelle und Christina im Zyklus 1 der Fall war.

Yasmin verzichtet beim Erstellen des Lerntextes auf die Nennung der rezeptorvermittelten Endocytose als eine Art der Endocytose und kennzeichnet dies als Reduktion. Insofern erfolgt eine bewusste Reduktion vor allem sektoral. Yasmin reduziert allerdings auch strukturell. Sie geht im Lerntext vor allem auf übergeordnete Zusammenhänge ein, indem sie die Endo- und Exocytose stets im Zusammenhang mit dem Stofftransport in der Zelle beschreibt. Diese strukturelle Reduktion wird allerdings nicht explizit von ihr benannt.

### *Yasmins Selbsteinschätzungen zum Lernprozess*

Für die Erstellung der kooperativen Concept Map gab Yasmin an, hauptsächlich Schulwissen verwendet zu haben. Vereinzelt sind Inhalte aus der Vorlesung eingeflossen. Yasmin nennt diese Inhalte „Spezialisierungen“ (Transkript\_Interview\_C-Map\_Yasmin: 14 - 14).

Die von der Seminarleitung dazugegebenen Begriffe, die eher dem universitären Wissen zugeordnet werden können (z.B. Fluidität, Asymmetrie, Membranfluss) wurden als „Details“ empfunden. (Transkript\_Interview\_C-Map\_Yasmin: 16 - 16). Die gemeinsam erarbeiteten Inhalte hält Yasmin einerseits für relevant, weil sie größtenteils Schulwissen darstellen. Auch darüberhinausgehende Inhalte hält sie in Bezug auf ihr eigenes Wissen als angehende Lehrkraft für relevant (Transkript\_Interview\_C-Map\_Yasmin: 20 - 20).

Für die Aufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten gab Yasmin an, ausschließlich Schulwissen verwendet zu haben. Als Begründung gab sie an, dass es sich um ein Schulbuch gehandelt hat, in dem nur Schulwissen abgebildet war und sie, um dieses Schulwissen zu analysieren auch nur solches bräuchte (Transkript\_Interview\_Dekonstr\_Yasmin: 4 - 6). Weiterhin bemerkt sie, dass sie zur Bearbeitung der Lernaufgabe keine fachlichen Hilfen herangezogen haben, weil für sie im Text keine Formulierungen auffällig geworden sind, die hätten überprüft werden müssen. Sie zieht als Begründung mangelndes Fachwissen heran (Transkript\_Interview\_Dekonstr\_Yasmin: 8 - 8).

Die Relevanz der in der Lernaufgabe zur Dekonstruktion besprochenen fachlichen Inhalte hält sie vor allem in Zusammenhang mit der Aufgabenstellung für sehr relevant. Yasmin begründet diese Relevanz einerseits mit der Unterrichtsvorbereitung, aber auch mit einer Art Berufsethos. Als Lehrkraft sieht sie sich in der Pflicht, fachliche Angemessenheit zu prüfen (Transkript\_Interview\_Dekonstr\_Yasmin: 12 - 12).



Yasmin gibt für die Lernaufgabe zur Erstellung einer Sachanalyse und eines fachlichen Lerntextes an, größtenteils Schulwissen verwendet zu haben. Teilweise hat sie die empfohlenen grundständigen Lehrbücher herangezogen. Auch die von ihr in der Sachanalyse beschriebenen Inhalte hält sie für die Ausübung ihres späteren Berufs für relevant. Hierbei differenziert sie jedoch zwischen Klassenstufen. Dies lässt darauf schließen, dass sie die Relevanz von fachlichen Inhalten größtenteils an der Unterrichtsdurchführung und an dem Schulwissen festmacht (Rekonstruktion\_Interview\_SoSe18\_Yasmin: 14 - 20).

### *Bedeutung der Einzelfallanalyse von Yasmin für die Iteration*

Yasmin und eine Vielzahl ihrer Mitstudierenden hatten Probleme bei der Aufklärung der molekularen Struktur der Membranbestandteile. Diese Probleme konnten auch mit Hilfe der Literatur und den Vorlesungsunterlagen nur unzureichend gelöst werden. Daher wird dieser Sachverhalt (und weitere Lernhindernisse) in ein Glossar übernommen, welches der folgenden Kohorte zur Bearbeitung der Lernaufgaben zur Verfügung gestellt wird.

Weiterhin ist auffällig, dass Yasmin und ihre Mitstudierenden vergleichsweise gut in der Lage sind, sektorale Reduktionen zu identifizieren. Strukturelle oder sogar horizontale Reduktionen zu identifizieren oder zu benennen, fällt ihnen schwer. Im Hinblick darauf, werden im Zyklus 3 weitere Beispiele zur Identifikation von Reduktionen eingebracht. Die Lernaufgabe zur Dekonstruktion von Open-Source-Materialien wird im Zyklus 3 vor allem als Übung genutzt, um Reduktionen zu identifizieren. Die Aufgabenstellung und die Leitfragen zu dieser, werden dahingehend verändert.

Yasmin nimmt (wie alle ihrer Mitstudierenden) im Lerntext eine Vielzahl von Reduktionen vor (z.B. bei den Prozessen der Vesikelabschnürung und Vesikelfusion), benennt diese allerdings nicht explizit. Auch in diesem Fall kann eine Änderung der Aufgabenstellung, indem drei Reduktionen im Lerntext konkret benannt werden sollen, hilfreich sein.

### **16.2.3 Zusammenfassung vorgenommener Iterationen nach Zyklus 2**

Nach Zyklus 2 hat sich gezeigt, dass einige Studierende (beispielsweise Tobias und Paula) nicht in der Lage waren, die durch die Seminarleitung hinzugegebenen Begriffe aus dem universitären Wissen in die von ihnen erstellte Concept Map einzuordnen. Dies lag vor allem daran, dass die Bedeutung der Begriffe unklar war und die (bereits reduzierte und vorstrukturierte) Literatur zur Begriffsklärung nicht zielführend herangezogen wurde. Dementsprechend wurde für den Zyklus 3 ein zusätzliches Glossar mit Begriffen und Konzepten erstellt. Dieses wird im Zyklus 3 in Form eines Aushangs im Seminarraum den Studierenden als Hilfestellung angeboten, um einerseits bei Unklarheit Begriffe schnell und präzise zu klären und um andererseits Wissen zu reaktivieren.

Um den Studierenden zusätzlich ein Angebot zur Reaktivierung des Wissens im Vorfeld der Erstellung der Concept Map bereitzustellen, wird ein Textauszug aus einem grundständigen Lehrbuch (Campbell et al. 2016, 133-134; 164-170; 182-183) vorbereitet. Diesen sollen die Studierenden zu Hause lesen. Der Textauszug fokussiert auf die Themenbereiche: Kompartimentierung eukaryotischer Zellen, Aufbau biologischer Membranen, Zell-Zell-Erkennung und Transport durch die Biomembran. Das fachliche Niveau des Textauszugs

lässt sich größtenteils als Abiturwissen, d.h. Schulwissen klassifizieren. An mehreren Stellen des Textes werden Sachverhalte aus dem universitären Wissen aufgegriffen (z.B. die Bedeutung des Cytoskeletts oder Bedeutung von Cholesterin für die Fluidität). Die Fachsprache ist vergleichsweise einfach gehalten.

Zudem ist auffällig geworden, dass die Studierenden im unzureichenden Maß eigenständig Kontrollmechanismen heranzogen. Die Aufforderung in der Aufgabenstellung zur Erstellung der Concept Map, die Literatur erst ganz zum Schluss heranzuziehen, führte dazu, dass einzelne Sachverhalte, bei denen während der Bearbeitung Unsicherheit bestand, nicht mehr nachgeschlagen werden. In einem Fall (s. Einzelfallanalyse Tobias) wurde sogar gar keine Literatur herangezogen. Die Erläuterung zur Aufgabenstellung zur kooperativen Erstellung der Concept Map wird dementsprechend geändert, dass die Studierenden bereits bei auftretenden Unsicherheiten oder Uneinigkeiten aufgefordert werden, auf die bereitgestellte Literatur zurückzugreifen.

Mit dem Umfang der Aufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten waren die Studierenden z.T. überfordert (s. Yasmin). Die Aufgabenstellung wird im Zyklus 3 dahingehend geändert, dass drei Reduktionen im Schulbuchtext ausgewählt werden sollen, an denen die möglichen Folgen für das fachliche Lernen erläutert werden sollen.

## 16.3 Zyklus 3: Wintersemester 2018/19

### 16.3.1 Amar

Alter: 21

Abiturnote: 1,8

Modulnote „Molekulare und zelluläre Biologie“: k.A.

Vorlesung Zellbiologie: im Sommersemester 2018

#### *Einstellungen von Amar zum Lehramtsstudium und zum Fachwissen*

Amar ist eher unzufrieden mit dem fachwissenschaftlichen Studium, schätzt aber am gemeinsamen Studium mit Fachstudierenden vor allem den Austausch. Um als Lehrkraft Berufsexpertise zu erlangen, misst er praktischen Erfahrungen eine höhere Bedeutung bei als dem Fachwissen und dem Hochschulstudium. Eigene Erfahrungen und Vorbilder, besonders aus der eigenen Schulzeit, spielen für Amar eine sehr große Rolle.

Sein Fachwissen schätzt er als niedriger im Vergleich zu seinen Kommilitonen ein. Sein zellbiologisches Fachwissen schätzt er hingegen als gleich zu anderen Gebieten der Biologie ein. Sein Abiturwissen in der Zellbiologie bewertete er als eher hoch und sein universitäres Wissen als eher niedrig. Damit liegt er im Durchschnitt der Probanden (Schulwissen Zellbiologie:  $M = 4,09$ ,  $SD = 0,51$ ; universitäres Wissen Zellbiologie:  $M = 2,18$ ,  $SD = 0,72$  – 5-stufig).

Der Zeitaufwand, den Amar für die Vor- und Nachbereitung der Vorlesung (1 h/Wo) und für die abschließende Klausur (5 Tage) investiert hat, liegt eher im unteren Bereich ( $M = 1,33$  h/Wo,  $SD = 1,37$  h/Wo und  $M = 5,64$  Tage,  $SD = 3,08$  Tage).

Das Interesse an universitärer Biologie mit einem Wert von  $M = 2,57$  ( $SD = 1,05$ , 4-stufig) liegt im Durchschnitt der Stichprobe ( $M = 2,86$ ;  $SD = 0,66$ ). Dabei sind die wertbezogenen Aspekte ein wenig höher ausgeprägt als die emotionalen Aspekte. Für das Schulwissen weist er ein deutlich höheres Interesse ( $M = 3,29$ ,  $SD = 0,7$ ) sowohl in den wertbezogenen als auch in den emotionalen Valenzen auf. Es liegt im Durchschnitt der Stichprobe ( $M = 3,18$ ;  $SD = 0,58$ ). Auffällig ist Amars geringes Interesse für die Zellbiologie (besonders für den emotionalen Bereich) sowohl in der universitären Biologie als auch in der Schulbiologie.

Im Sinne der wahrgenommenen Relevanz des Fachwissens für die Ausübung des späteren Berufs argumentiert Amar, dass das in der Universität erlernte Fachwissen durchaus relevant ist, aber über das in der Schule benötigte Fachwissen hinausgeht.

*Amar: Vieles vom universitären Wissen ist zwar wichtig und informativ, geht aber oft über das benötigte Wissen eines Lehrers hinaus. Viele Dinge können SchülerInnen einfach noch nicht nachvollziehen, da ihnen das Vorwissen aus anderen Bereichen fehlt. Einiges von dem Wissen ist einfach zu viel – besonders angesichts des zweiten Studienfachs.*

(Prätest\_WiSe18\_19\_Amar: 15 – 15)

Er argumentiert weiter, dass Schüler\*innen diese Inhalte nicht nachvollziehen können. Das heißt dass Amar (zum Zeitpunkt des Prätests) die Relevanz des später als Lehrkraft benötigten Fachwissens an dem festmacht, was Schüler\*innen wissen sollen. Gekürzt

werden sollten seiner Meinung nach Biochemie und Physiologie, ergänzt werden sollten fachdidaktische Praktika.

### *Ergebnisse des Prätests im Vergleich zum Posttest von Amar*

Im Hinblick auf Amars Einstellung zur Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens ergab sich im Posttest wenig Änderung im Vergleich zu Prätest.

*Amar: Unterschiedlich. Das kommt wirklich auf die Themen an. Gerade Sachen wie die Physiologie geht nach meinem Dafürhalten viel zu weit. Die einzelnen Hormone benennen können in einem bestimmten Vorgang (.) das taucht einfach in der Schule nicht mehr auf. Deswegen geht es da manchmal zu weit. Aber gerade Sachen wie die botanischen oder zoologischen Kurse sind doch wichtig.*

(Transkript\_Laut\_Denken\_Amar: 17)

Ein Unterschied ist, dass Amar im Posttest nach Fachgebieten unterscheidet und dabei einige biologische Fachgebiete relevanter für die Ausübung des späteren Berufs einschätzt als andere. Vor allem scheinen ihm physiologische Prozesse auf molekularer Strukturebene zu detailliert, um für die Arbeit als Biologie-Lehrkraft nützlich zu sein.

Das abrufbare zellbiologische Fachwissen von Amar hat sich im Posttest (im Vergleich zum Prätest) enorm gesteigert. Im Prätest wies Amar noch fachlich unangemessene Vorstellungen über folgende Sachverhalte auf: das Endomembransystem im Verhältnis zu Chloroplasten und Mitochondrien, das Gegenspieler-Prinzip bei G-Proteinen, den Stofftransport durch den Golgi-Apparat, die Beziehung von Organell zu Kompartiment, die Lokalisation von Membranproteinen durch Wechselwirkungen und die Struktur von Membranproteinen. Fachlich angemessene Vorstellungen äußert Amar allerdings über die Fluidität von Biomembranen, Strukturmodifikationen und Funktionszusammenhänge in der Biomembran und die Struktur von Membranproteinen.

Die Concept Map, die Amar gemeinsam mit Clara und Marina erstellt hat, bewegt sich überwiegend auf Schulniveau. Es wurden viele Verbindungen zwischen Begriffen hergestellt, was den hohen Score von 169 Punkten erklärt. Der Prozess der Erstellung war von einer Vielzahl von Erklärungsversuchen fachlicher Konzepte geprägt. Es werden zahlreiche Begriffe aufgeführt, aber nur sechs Begriffe wurden von der Gruppe als Wissen gekennzeichnet, welches in der Universität erlernt wurde. Obgleich im Erstellungsprozess viele übergreifende Zusammenhänge mündlich beschrieben wurden, konnten sie in der erstellten Concept Map nur wenig dargestellt werden.

Tabelle 36 Bewertungsergebnis der Concept Map von Amar, Clara und Marina (Zyklus 3)

Kategorie Relation	Anzahl der Verbindungen	Gesamtpunkte der Verbindungen
Beschriftung fehlt	1	1
Beschreibung über Adjektive	2	4
Gruppenbildung	25	75
Hierarchie	28	84
Ursache-Wirkung	1	5
<b>Summe</b>	<b>57</b>	<b>169</b>

Innerhalb der Aufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten fanden in der Arbeitsgruppe um Amar kaum fachliche Diskussionen statt. Deshalb wurde sich bei der Darstellung seines Lernpfades auf die kooperative Erstellung der Concept Map fokussiert,

in der Amar sich zu einer Vielzahl von Konzepten (in den meisten Fällen fachlich angemessen) äußern konnte.

Im Posttest wies Amar in nahezu allen Konzepten (eine Ausnahme bildet der Stofftransport durch den Golgi-Apparat) fachlich angemessene Vorstellungen auf. Auch die Konzepte, die bereits z.T. fachlich angemessen beschrieben wurden, konnten nun differenzierter und sprachlich angemessener dargestellt werden.

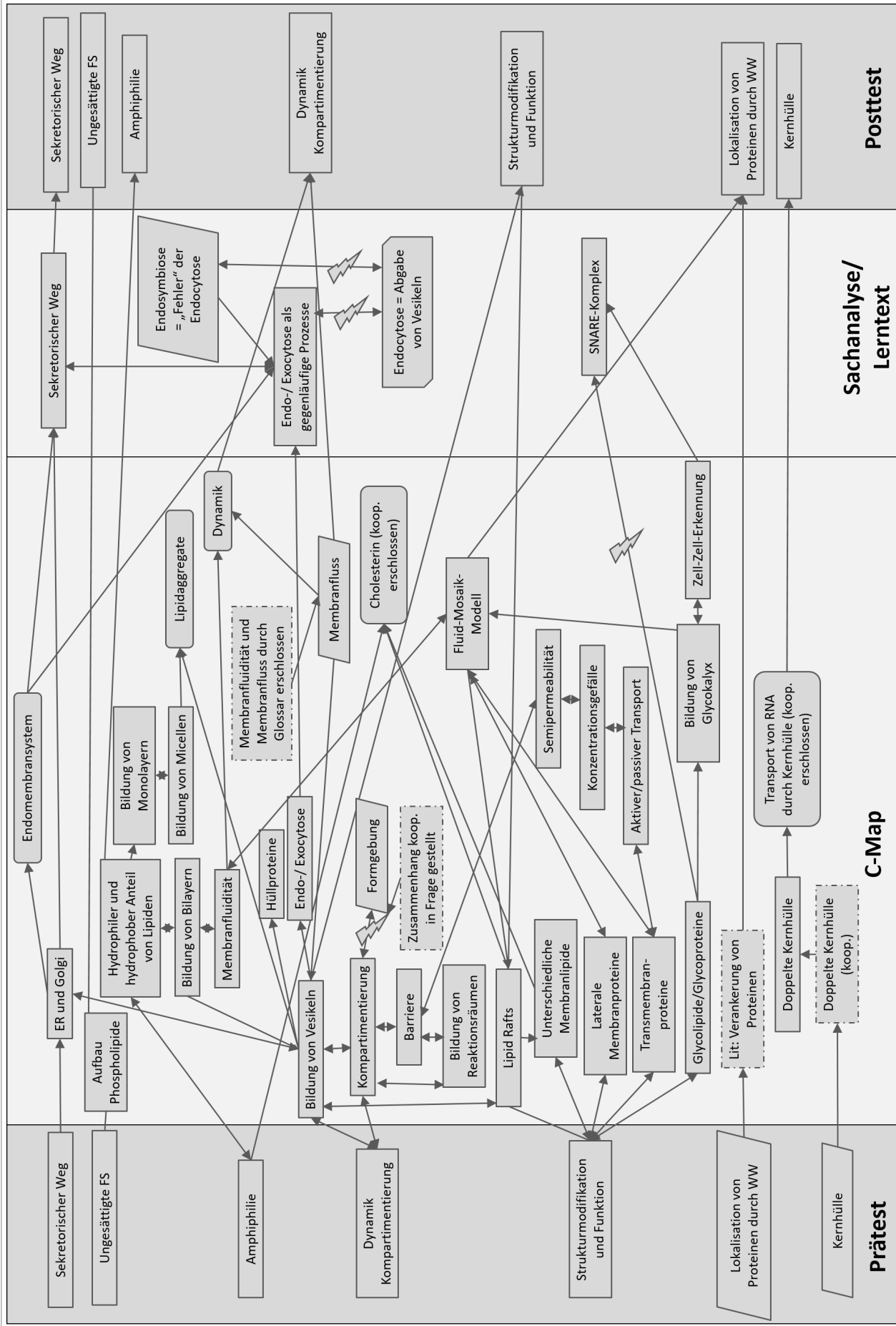


Abbildung 42 Lernpfad von Amar zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 3)

### *Schlüsselstellen im fachlichen Lernprozess von Amar*

Amars Lernpfad zeichnet sich durch eine Vielzahl von Konzepten aus, die er größtenteils, fachlich angemessen beschreiben und miteinander verknüpfen kann. Eine Schlüsselstelle im Lernprozess ist die, in der er mehrere Zusammenhänge bezüglich der Struktur der Biomembran erkennt und gemeinsam mit Clara und Marina aufzeigt.

*Amar: Unter Protein gibt es schon zwei unterschiedliche [...] Genau, und dann laterale, transmembran und peripher oder was auch immer.*

*Marina: Dann können wir eigentlich die Glycokalix direkt mitnehmen, oder?*

*Amar: Und bei den Lipiden (.) [Der Professor] hat ja noch wahnsinnig Wert auf Lipid Rafts und so etwas gelegt. Das würde ich wahrscheinlich noch mit irgendwie...*

*Marina: So dann können wir auch zum Bilayer gehen. Wenn wir die Bestandteile haben.*

*Amar: Und, dass es fluid ist. Fluid-Mosaik-Modell. (..) Es hängt alles so schön zusammen.*

(Transkript\_Audio\_Cmap\_WiSe18\_19\_Amar\_Clara\_Marina: 38 – 44)

Die Arbeitsgruppe hatte bereits Begriffe gesammelt, die sie nun versuchen zu sortieren und sinnvoll anzuordnen. Es gelingt ihnen hier die Oberbegriffe für die Membranbestandteile mit dem Konzept der Membranfluidität und dem Flüssig-Mosaik-Modell in Zusammenhang zu bringen.

Eine weitere Schlüsselstelle ist die, in der Amar zunächst annimmt, die Kompartimentierung von Zellen betreffe auch die „Formgebung“ von bestimmten Kompartimenten. Dieser Zusammenhang wird von Clara in Frage gestellt. Die Form von Kompartimenten wird wissenschaftlich betrachtet größtenteils durch das Cytoskelett vermittelt und nicht durch die Biomembran. Dies wird in diesem Gespräch jedoch nicht aufgeklärt.

*Amar: (Unv.) und da als Funktion.*

*Marina: Also eigentlich dann Barriere.*

*[...]*

*Amar: Genau Reaktionsräume.*

*Clara: Das Wichtigste.*

*Amar: Unter bestimmten pH-Werten etc. pp.*

*Marina: Spezialisieren oder so?*

*Amar: Stimmt. Spezialisierung, Formgebung.*

*Clara: Nein. Ich würde Formgebung noch einmal als einzelnen Punkt nehmen, weil Spezialisierung, glaube ich, meint sie eher so, dass jedes Kompartiment Aufgaben hat auf die sie spezialisiert sind. Oder?*

*Amar: Stimmt.*

(Transkript\_Audio\_Cmap\_WiSe18\_19\_Amar\_Clara\_Marina: 87 – 95)

Im Folgenden können Amar und seine Arbeitsgruppenmitglieder noch den für die Fluidität der Biomembran bedeutsamen Membranbestandteil Cholesterin mit den Konzepten der Amphiphilie und der Lipid Rafts in Verbindung bringen. Damit begeben sie sich eigenständig in den Bereich des universitären Wissens. Dies gelingt nur wenigen Studierenden in der gesamten Stichprobe.

*Clara: Haben wir Cholesterin schon mit eingebracht?*

*Amar: Nein.*

*Clara: Na dann können wir von da von amphipatisch runter gehen zum Cholesterin, weil das ja auch die Eigenschaft besitzt.*

*Marina: Und dann weiter? Ich meine inwiefern brauchen wir das Cholesterin an der Stelle? Einfach nur um zu sagen, dass Cholesterin amphipatisch ist?*

*Amar: Cholesterin war doch auch in der Nähe von Lipid Rafts zu finden (unv.).*

*Clara: Na es ist ein Membranlipid.*

*Amar: Ja, aber war es nicht auch gehäuft bei Lipid Rafts? [...] Das schwante mir gerade irgendwie*

so vor.  
 Marina: *Und was war die Funktion von Lipid Rafts? Die haben meistens Vesikel und so etwas gebildet.*  
 Amar: *Genau.*

(Transkript\_Audio\_Cmap\_WiSe18\_19\_Amar\_Clara\_Marina:167 – 177)

### *Lernhindernisse im Lernprozess von Amar*

Im Lernprozess von Amar sind keine gravierenden Lernhindernisse augenscheinlich geworden. Dies kann allerdings auch daran liegen, dass sich Amar bei Unsicherheit in der Diskussion eher zurückgezogen hat, wie sich in der Lernaufgabe um die Dekonstruktion des Schulbuchtextes gezeigt hat.

Bei der Erstellung der Sachanalyse und des Lerntextes zeigen sich bei Amar allerdings auch fachlich unangemessene Vorstellungen. Sie haben zwar in diesem Lehr-Lernarrangement keine weitreichenden Konsequenzen für das fachliche Lernen, könnten sich aber in Zukunft als Lernhindernisse erweisen. Zum einen geht Amar davon aus, dass Endocytose die „Aufnahmen von Vesikeln“ ist und dass es einen Mechanismus gibt, bei dem „Vesikel an den richtigen Neuronen ankommen“ (Lerntext\_Amar: 1: 35|414 - 1: 612|488). Vermutlich liegt eine fachlich unangemessene Vorstellung bezüglich des Stofftransports über den postsynaptischen Spalt zugrunde. Amar geht möglicherweise (wie zuvor schon Claudia) davon aus, dass Neurotransmitter über Vesikel von der präsynaptischen- zur postsynaptischen Membran transportiert werden. Dies ist aus wissenschaftlicher Sicht nicht der Fall und auch nicht möglich. Neurotransmitter werden über Vesikelfusion an der präsynaptischen Membran in den synaptischen Spalt abgegeben, worauf sie mit Rezeptoren an der postsynaptischen Membran interagieren. Wenn an der intrazellulären Seite der präsynaptischen Membran ein Vesikel fusioniert, kann sich nicht gleichzeitig ein Vesikel mit dem gleichen Inhalt (Neurotransmitter) in den extrazellulären Raum abschnüren.

Allerdings wird von Amar die Endocytose mit der Endosymbiontentheorie in Verbindung gebracht (Sachanalyse\_Amar: 1: 41|57 - 1: 722|143). Von daher kann man davon ausgehen, dass Amar die Endocytose gleichzeitig auch als Stoffaufnahme in Bezug auf die Abschnürung von Vesikeln versteht. Die Unvereinbarkeit dieser Vorstellungen ist ihm scheinbar noch nicht bewusst.

Damit weniger zusammenhängend, aber dennoch erwähnenswert, beschreibt Amar die Endosymbiose allerdings als „Fehler der Evolution“ (Sachanalyse\_Amar: 1: 41|57 - 1: 722|143) und äußert damit die teleologische Vorstellung der Zielgerichtetheit der Evolution.

### *Amars Anwendung von Wissen, um Konzepte zu identifizieren und um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren (Facetten 1 & 3)*

Amar beteiligt sich wenig bei der Identifikation von Konzepten und ist eher Zuhörer. Von der gemeinsamen Arbeitsgruppe mit Christina und Luisa werden im Schulbuchtext mehrere fachliche Konzepte identifiziert. Diese werden bei der Beschreibung des Falls Christina aufgeschlüsselt, da sie in der Diskussion deutlich aktiver war.

Bei den Diskussionen über Reduktionen beteiligt sich Amar engagierter. Von Amar wird die fehlende Erklärung der Signalübertragung als sektorale Reduktion identifiziert.



Luisa: *Vielleicht das mit dem Schlüssel-Schloss-Prinzip. Ist das eine Reduktion? Da wird gesagt, dass Signalübertragungen stattfinden mittels Schlüssel-Schloss-Prinzip.*

Amar: *Stimmt Signalübertragung ist ungenau.*

Luisa: *Was sind Signalübertragungen, oder?*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 94 - 96)

Amar geht weiterhin auf eine von ihm wahrgenommene Reduktion ein, welche die Begriffe polar und hydrophil und apolar und hydrophob gleichsetzt. Dies steht allerdings nicht wörtlich so im Text und darauf wird er durch seine Kommilitoninnen hingewiesen. Auch vom wissenschaftlichen Standpunkt her wäre diese Annahme fachlich angemessen, weil sich Hydrophobizität aus den Zusammenschluss apolarer Moleküle ergibt und der Tendenz von wässrigen Medien diese apolaren Molekülgruppen auszuschließen (IUPAC 2009).

Amar: *Die andere Frage ist, wie wir es dann sonst nennen wollen. (...) Also im gewissen Sinne sind dann noch diese Vereinfachung für hydrophob gleich unpolar und hydrophil gleich polar. Das reicht zwar aus, aber es ist jetzt...Aber das wäre dann wirklich weitgehend.*

Luisa: *Ich finde das reicht eigentlich. Weil es steht nicht da, dass hydrophob bedeutet, dass es immer unpolar sein muss. Aber das Eine ergibt sich nun einmal aus dem Anderen.*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 102 - 103)

Die im Schulbuchtext identifizierten Reduktionen wurden als nicht hinderlich für das Weiterlernen deklariert. Hinsichtlich der fehlenden Erläuterung zur Signalübertragung gab es allerdings Einsprüche von Luisa. Ihr zufolge hätte dieser Sachverhalt erläutert werden müssen, um weiterhin auch die Funktionsweise von beispielsweise Carriern nachvollziehen zu können. Dies wurde von Amar jedoch abgelehnt.

Luisa: *Die Frage ist eigentlich nur, welche Folgen die Reduktionen im Text für die weitere Auseinandersetzung mit dem Thema haben. Wir müssen gucken, ob das Folgen hat für das Verständnis des Textes. Bei solchen Sachen wie sehr häufig oder bei den anderen auch nicht. Eigentlich geht es hier nicht um Pro- und Eukaryoten, ist mir gerade aufgefallen. Zum Verständnis des Textes ist es unnötig. Also ist es egal, dass es reduziert wurde. Was hatten wir noch?*

Amar: *Die Signalübertragung.*

Christina: *Das ist auch nicht. Oder?*

Luisa: *Aber schon ein bisschen wichtiger oder? Weil es nachher um...Genau. Guck mal. Die Carrier Rezeptoren sind hier unten aufgeführt. Das ist eigentlich die Signalübertragung mittels eines Rezeptors. Um das hier zu verstehen, hätte man das vielleicht noch ausführen können.*

Amar: *Aber es behindert das Lernen erstmal nicht. Es ist bloß nicht spezifisch genug. Wie schreibt man das?*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 106 - 110)

Für die Lerngelegenheit der Dekonstruktion von Schulbuchtexten lassen sich Amars Fähigkeiten Konzepte, Vorwissen, Reduktionen und ihre Folgen zu identifizieren nur in Zusammenhang mit den von Luisa und Christina geäußerten Vorschlägen rekonstruieren. Da Amar jedoch nicht aktiv widersprochen hat und die jeweiligen Vorschläge auch auf dem gemeinsamen Arbeitsblatt als „Schreiber“ verzeichnet hat, kann man zumindest nicht von widersprechenden Vorstellungen ausgehen (s. Ausführungen zum Fall Christina).

Bei der Erstellung der Sachanalyse beschreibt Amar (entgegen der Aufgabenstellung) eine aus seiner Sicht geeignete und inhaltlich begründete Sequenzierung von Unterricht zum Thema „Stofftransport in der Zelle“. Er macht dabei auch Konzepte deutlich, die seiner Ansicht nach für das Verständnis von Endo- und Exocytoseprozessen essenziell sind. Z.B.

benennt er hier den Aufbau der Biomembran und damit zusammenhängend die Bildung von Lipidaggregaten zu Mizellen oder Vesikeln, den sekretorischen Weg und die Zell-Erkennung über Glycolipide. Bei der Erstellung des Lerntextes ist Amar sehr gut in der Lage Reduktionen vorzunehmen und diese explizit zu benennen.

### *Amars Selbsteinschätzungen zum Lernprozess*

Im retrospektiven Interview, welches nach der kooperativen Erstellung der Concept Map stattgefunden hat, gibt Amar an, für die Bewältigung der Lernaufgabe größtenteils Schulwissen und nur ergänzend universitäres Wissen verwendet zu haben (Transkript\_Interview\_CMap\_Amar: 2 - 5). Die Relevanz, der in der Concept Map beschriebenen Inhalte, bewertet Amar als durchgehend hoch und begründet auch dies (wie auch mehrere Mitstudierende) mit tiefer gehenden Fragen von Lernenden im Unterrichtsgeschehen (Transkript\_Interview\_CMap\_Amar: 18 - 21).

Zur Bewältigung der Lernaufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten hat Amar, eigenen Angaben nach, größtenteils universitäres Wissen herangezogen. Die Bedeutung der im Schulbuch beschriebenen Begriffe kannte er zwar aus der Schule, aber zur Einschätzung, ob es sich bei der Beschreibung um eine Reduktion handelt und welche Folgen diese haben könnte, benötigte er Wissen, welches in der Universität vermittelt wurde. Auch die Relevanz der fachlichen Inhalte betrachtet Amar als sehr hoch und begründet dies mit der Wichtigkeit eines übergreifenden Verständnisses für die Struktur und Funktion der Biomembran (Transkript\_Interview\_Dekonstr\_Amar: 2 - 15).

Die Lernaufgabe zur Erstellung der konzeptorientierten Sachanalyse hat Amar anders als von der Seminarleitung intendiert interpretiert und eher einen Vorschlag zur Sequenzierung einer Unterrichtseinheit vorgenommen. Daher werden Amars Aussagen zur Herkunft des angewendeten Wissens und zur wahrgenommenen Relevanz der Inhalte hier nicht weiter ausgeführt.

### *Bedeutung der Einzelfallanalyse von Amar für die Iteration*

Im Hinblick auf die bei einer Vielzahl von Studierenden auftauchende Vorstellung, dass die Biomembran eine stabilisierende Funktion in der Zelle aufweist, muss im letztendlichen Lehrveranstaltungsdesign die fachliche Auseinandersetzung mit dem Cytoskelett gestärkt werden. Der Begriff „Cytoskelett“ wird dementsprechend in die von der Seminarleitung hinzugegebenen Begriffe für die Erstellung der Concept Map mit aufgenommen. Weiterhin wird die Problematik der Formgebung berücksichtigt, indem der Vergleich der Biomembran mit einer Wand diskutiert wird.

Amar hat die Sachanalyse als didaktische Analyse verfasst. Dies war auch bei Studierenden aus vorherigen Zyklen z.T. der Fall (Zyklus 1: Lukas; Zyklus 2: Johanna, Paula). Obgleich die Aufgabenstellung die Sachanalyse als rein fachlichen Text, der die Lernenden zunächst außen vor lässt, beschreibt (s. Anhang I.k), wird beim letztendlichen Lehrveranstaltungsdesign für zukünftige Durchführungen der Lernangebote noch deutlicher auf die Form und die Bedeutung von Sachanalysen eingegangen.

### 16.3.2 Christina

Alter: 21

Abiturnote: 1,7

Modulnote „Molekulare und zelluläre Biologie“: 3,7

Vorlesung Zellbiologie: im Sommersemester 2017

#### *Einstellungen von Christina zum Lehramtsstudium und zum Fachwissen*

Christina ist im Allgemeinen mit den fachwissenschaftlichen Studienanteilen nur teilweise zufrieden. Das gemeinsame Studium mit Fachstudierenden wird von ihr vor allem als Chance für einen Austausch untereinander wahrgenommen. Sie nimmt eine Ungleichbehandlung (nicht unbedingt negativ konnotiert) im Sinne von unterschiedlichen Klausur-Schwierigkeiten wahr.

Auf dem Weg zu einer guten Lehrkraft misst sie praktischen Erfahrungen eine sehr hohe Bedeutung bei. Das Hochschulstudium empfindet sie bei diesem Prozess nur teilweise als hilfreich. Ein hohes Fachwissen sieht sie allerdings als eher wichtiger an. Für Christina spielen vor allem eigene Erfahrungen und die Orientierung an Vorbildern, vor allem aus der eigenen Schulzeit eine große Rolle.

Ihr biologisches Fachwissen schätzt sie als gleich im Vergleich zu dem ihrer Kommilitonen ein. Ihr zellbiologisches Fachwissen schätzt sie hingegen als eher niedriger im Vergleich zu anderen Gebieten der Biologie ein. Dies entspricht dem durchschnittlichen Antwortverhalten in der Stichprobe.

Ihr Abiturwissen in der Zellbiologie bewertete sie als eher hoch und ihr universitäres Wissen als eher niedrig. Damit liegt sie im Durchschnitt der Probanden (Schulwissen Zellbiologie:  $M = 4,09$ ,  $SD = 0,51$ ; universitäres Wissen Zellbiologie:  $M = 2,18$ ,  $SD = 0,72$  – 5-stufig)

Der Zeitaufwand für die Vor- und Nachbereitung der Vorlesung (0 h/Wo) und für die Klausur am Ende (7 Tage) liegt etwas unter dem durchschnittlichen Bereich (Vor- und Nachbereitung Vorlesung:  $M = 1,44$  h,  $SD = 1,77$  h/Wo; Klausurvorbereitung:  $M = 7,22$  Tage;  $SD = 2,20$  Tage).

Das Interesse an universitärer Biologie liegt mit einem Wert von  $M = 2,29$  ( $SD = 0,88$ ) (4-stufig) leicht unter dem Durchschnitt der Kohorte ( $M = 2,57$ ;  $SD = 0,51$ ). Besonders das Interesse für Zellbiologie ist niedriger ausgeprägt. Es kann kein Unterschied zwischen wertebezogenen und emotionalen Valenzen ausgemacht werden. Für das Interesse am Schulwissen weist sie einen (dem Durchschnitt entsprechenden) hohen Wert von  $M = 3,14$  ( $SD = 1,12$ ) auf. Das durchschnittliche Antwortverhalten der Stichprobe liegt bei  $M = 3,08$  ( $SD = 0,56$ ). Es kann auch hier kein nennenswerter Unterschied zwischen wertebezogenen und emotionalen Valenzen ausgemacht werden.

Im Sinne der wahrgenommenen Relevanz des Fachwissens für die Ausübung des späteren Berufs argumentiert Christina, dass sie die Vermittlung von Fachwissen grundsätzlich wertschätzt, sie dieses Fachwissen ist allerdings als nicht notwendig für den Lehrerberuf ansieht, da es ihrer Meinung nach zu detailliert ist. Auf welcher Grundlage diese Einschätzung erfolgt, führt Christina nicht weiter aus.

*Christina: Gut, dass man mehr Wissen vermittelt bekommt als für Lehrertätigkeit notwendig, allerdings teilweise viel zu viel und zu detaillierter Stoff (gleichgestellt mit Mono's).*

(Prätest\_WiSe18\_19\_Christina: 15 - 15)

Gekürzt werden, sollte ihrer Meinung die Tiefe des Fachwissens. Ergänzt werden, sollten didaktische und praktische Lehrveranstaltungen.

### *Ergebnisse des Prätests im Vergleich zum Posttest bei Christina*

Nach der Lehrveranstaltung, d.h. zum Zeitpunkt des Posttests, misst Christina dem universitären Fachwissen eine hohe Relevanz für die Ausübung des späteren Berufs zu.

*Christina: Es hat schon eine starke Relevanz, weil man muss quasi schlauer sein als die Schüler, um auch Fragen beantworten zu können, die dann unerwarteter Weise von den Schülern kommen. Es gibt durchaus Schüler, die einfach mehr Anspruch auf ihr eigenes Wissen haben und das auch erweitern wollen und wenn man dann keine Antworten geben kann, ist es halt doof. Weil man sich dann auch Respekt verschaffen kann gegenüber den Schülern, wenn man zeigt ‚Ich weiß das Alles, was ihr mich fragt und was ihr wissen wollt.‘. Danke ich spielt das schon eine große Rolle.*

*Interviewer: Die Relevanz ist, dass du mehr als deine Schüler weißt und kannst auf Fragen entsprechend reagieren.*

*Christina: Ja. Richtig.*

(Transkript\_Laut\_Denken\_Christina: 21 - 23)

Sie begründet dies vor allem damit, dass es ihres Erachtens wichtig sei, mehr als die Schüler\*innen zu wissen und damit auch auf fachlich anspruchsvollere Fragen eingehen zu können. Sie bezieht dies allerdings weiterhin eher auf eine Möglichkeit, sich im Klassenraum „Respekt“ als Lehrkraft zu verschaffen und weniger auf den möglicherweise besseren Lernerfolg für Schüler\*innen.

Christinas Fachwissen verbessert sich auf einem mittleren Niveau. Im Prätest weist Christina ein mittleres bis gutes Vorwissen auf. Fachlich unangemessene Vorstellungen äußert sie bei Konzepten wie der Struktur und Funktion ungesättigter Fettsäuren und der Kernhülle. Auch bei Ausführungen über die Permeabilität und die Amphiphilie der Biomembran, beschreibt sie die Funktion des Zusammenwirkens der Phospholipide als „Schutz“ und „kaum durchlässig“.

*Christina: „Können nur im zusammengelagerten Zustand ihre Funktion erfüllen, z.B. Plasmamembran  $\leftrightarrow$  Schutz, weil Schicht aus Phospholipiden kaum durchlässig.“*

(Prätest\_WiSe18\_19\_Christina: 37 - 37)

Auch in Bezug auf die Dynamik der Kompartimentierung nennt Sie zwar den Stofftransport und die Zellteilung, setzt dies aber nicht mit der Vesikelbildung und dem Membranfluss in Verbindung.

Die mit Moritz gemeinsam erstellte Concept Map beinhaltet überwiegend Gruppenbildungen. Es wurden einige einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen beschrieben. Weiterhin wurde die Concept Map überwiegend aus Schulwissen angefertigt. Es sind nur wenige Wörter und Wortgruppen als universitäres Wissen gekennzeichnet. Das universitäre Wissen wurde mit dem Schulwissen an einigen Stellen verknüpft. Die Gesamtpunktzahl von 104 Punkten liegt im Durchschnitt der gesamten Stichprobe.

Tabelle 37 Bewertungsergebnis der Concept Map von Christina und Moritz (Zyklus 3)

Kategorie Relation	Anzahl der Verbindungen	Gesamtpunkte der Verbindungen
Beschriftung fehlt	1	1
Beschreibung über Adjektive	9	18
Gruppenbildung	11	33
Hierarchie	9	27
Ursache-Wirkung	5	25
<b>Summe</b>	<b>35</b>	<b>104</b>

Christina befand sich bei der Bearbeitung der Lerngelegenheit zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten in einer gemeinsamen Arbeitsgruppe mit Amar und Luisa. Daher gilt auch hier, analog zu den Ausführungen beim Fall Amar, dass innerhalb dieser Lerngelegenheit wenig fachliche Konzepte diskutiert wurden und deshalb keine Aussagen zum fachlichen Lernen getroffen werden können. Die Diskussionsschwerpunkte in dieser Arbeitsphase lagen innerhalb der Gruppe – gemäß der Aufgabenstellung – bei der Bewertung des Konzeptcharakters von fachlichen Aussagen und Einschätzungen zu fachlichen Reduktionen. Aufgrund dieses Sachverhalts taucht die Arbeitsphase zur Dekonstruktion im Lernpfad zur Entwicklung fachlicher Konzepte (s. Abbildung 43), ebenso wie bei Amar, nicht auf.

Christinas Sachanalyse weist ein hohes fachliches Niveau und eine gute Verknüpfung von Schulwissen und universitärem Wissen auf. Ihr gelingt es zentrale Zusammenhänge aufzuzeigen und einen in sich kohärenten Text zu verfassen.

Über die gesamte Lehrveranstaltung hinweg betrachtet, ist Christina nach der Lehrveranstaltung besser in der Lage, fachliche Konzepte zu erläutern und in Bezug zueinander zu setzen. Konzepte zur Bedeutung der Amphiphilie, zum Gegenspieler-Prinzip bei G-Proteinen, zur Dynamik der Kompartimentierung oder zur Funktion der Kernhülle können nach der Lehrveranstaltung fachlich angemessener wiedergegeben werden.

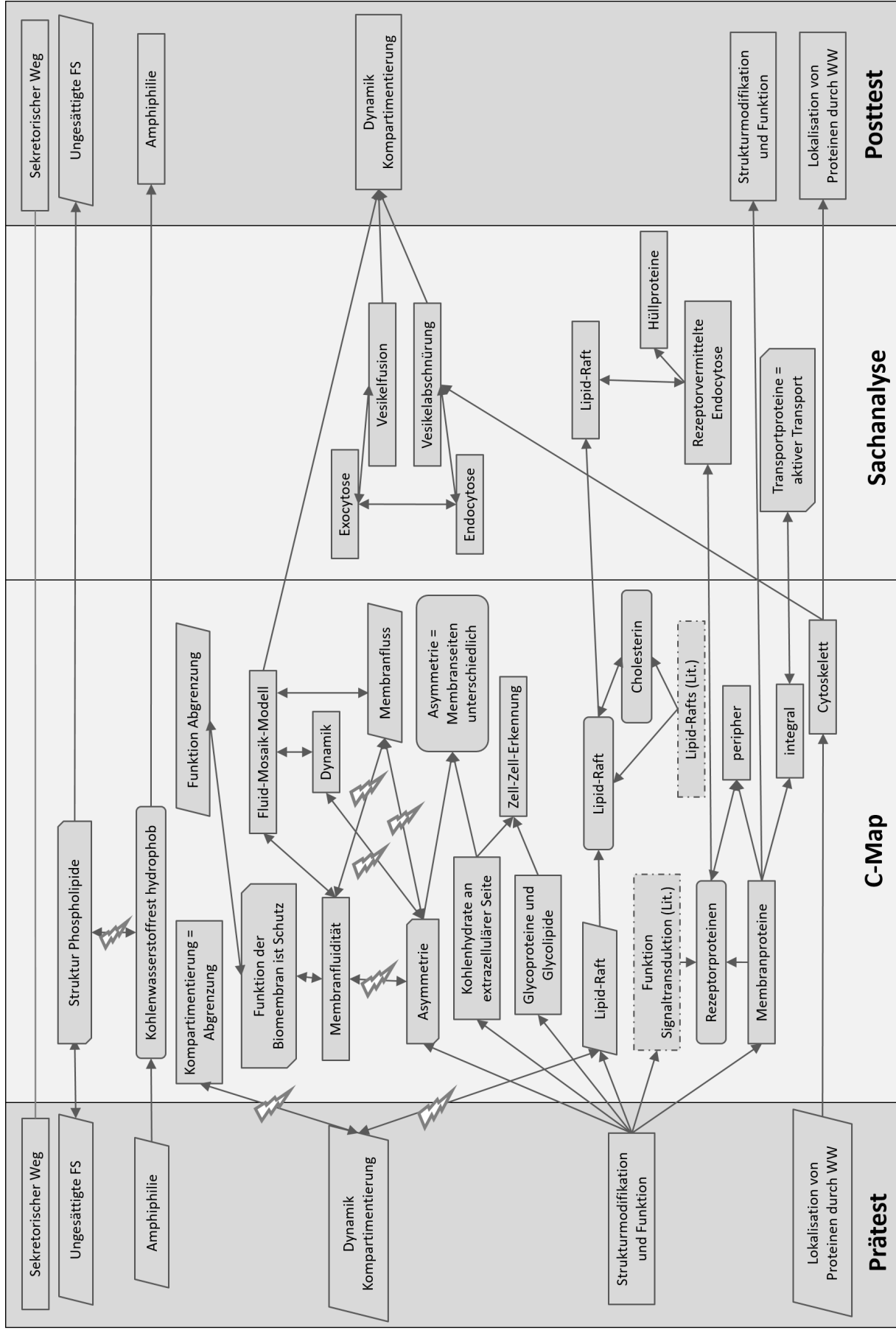


Abbildung 43 Lernpfad Christina zur Entwicklung fachlicher Konzepte (Zyklus 3)

### *Schlüsselstellen im fachlichen Lernprozess von Christina*

Beim kooperativen Erstellen einer Concept Map wurde von Christinas Arbeitspartner Moritz eine vage Vorstellung in Bezug auf die Asymmetrie der Biomembran geäußert, die von Christina nicht in Frage gestellt wurde. Der asymmetrische Aufbau wird hier von Moritz in Verbindung gebracht dem mit Transport von Stoffen in unterschiedliche Richtungen. Vom wissenschaftlichen Standpunkt her, hat dies mit einer unterschiedlichen Orientierung der Transmembranproteine in der Membran zu tun. Allerdings ist die Biomembran, nicht wie hier von Moritz als symmetrisch, sondern als asymmetrisch zu bezeichnen. Denn auch rein von Aufbau her, weist die Membran eine Asymmetrie auf, die sich auch in einer unterschiedlichen Durchlässigkeit, als Eigenschaft widerspiegelt. Es gelingt Moritz in diesem Fall nicht, Struktur und Funktion der Biomembran gemeinsam zu denken. Auch Christina gelingt es hier zunächst nicht ein fachlich angemessenes Konzept zu äußern.

*Moritz: Naja von außen werden nicht die gleichen Ionen, Moleküle durchgelassen wie innen. Klar, werden sie durch Membranen hindurchgelassen teils, aber (...) das hab ich so gelesen. Asymmetrischer Aufbau. Ich weiß es nicht mehr ganz genau.*

*Christina: Gibt es dazu nicht sogar einen Fachbegriff?*

*Moritz: Asymmetrischer Aufbau? Asymmetrie ist doch schon ein Fachbegriff.*

*Christina: Nein, aber (...).*

*Moritz: Ich weiß nur nicht mehr in welchem Zusammenhang. Also wie man das jetzt genau erklärt. Ob das jetzt wirklich so mit den Molekülen war, weil theoretisch hast du ja den hydrophilen Bereich außen. Oben, unten und in der Mitte ist der hydrophobe Bereich. Theoretisch ist das ja...naja schon eine Symmetrie. Aber asymmetrisch im Sinne der Durchlässigkeit.*

(Transkript\_Audio\_CMap\_WiSe18\_19\_Christina\_Moritz, 41-45)

Später wird diese Vorstellung durch Zuhilfenahme der reduzierten und vorstrukturierten Literatur in eine fachlich angemessenere Form überführt. An dieser Stelle wird Christina auch an den Zusammenhang der Asymmetrie der Biomembran an die Verschiedenheit der cytoplasmatischen und extrazellulären Seite bei Plasmamembranen erinnert. Dadurch kann das Konzept der Asymmetrie mit einem Beispiel untermauert werden.

*Moritz: Ah hier, guck mal Asymmetrie heißt, dass die Membranseiten unterschiedlich sind. Das ist Asymmetrie.*

*Christina: Ja klar, weil auf der extrazellulären Seite hier noch z.B. Kohlenhydrate dranhängen.*

(Transkript\_Audio\_CMap\_WiSe18\_19\_Christina\_Moritz,183 - 184)

Moritz hält allerdings an seiner alten Vorstellung von der Asymmetrie (zumindest zum Teil) fest, was sich darin äußert, dass er die Asymmetrie in Verbindung bringt mit der Entstehung von Membranfluss. Diese Aussage ist fachlich nicht haltbar. Christina setzt diesem fachlich unangemessenen Verständnis nichts entgegen.

*Christina: Wir müssen jetzt halt so ein bisschen überlegen: Wodurch entsteht denn diese Dynamik und Membranfluss und so?*

*Moritz: Durch die Asymmetrie und dadurch, dass die Proteine sich innerhalb bewegen können.*

(Transkript\_Audio\_CMap\_WiSe18\_19\_Christina\_Moritz:198 - 199)

Christina gelingt es an späterer Stelle den Begriff Dynamik mit dem Fluid-Mosaik-Modell in Verbindung zu bringen. Moritz äußert daraufhin noch die fachlich unangemessene Vorstellung, dass der Membranfluss die Membranfluidität beschreibt. Wissenschaftlich betrachtet ist die Membranfluidität jedoch eine Eigenschaft, die den Membranfluss ermöglicht.

Christina: *Stimmt, aber das beschreibt auch diese Dynamik und die Membran. Dieses Flüssig-Mosaik-Modell.*

Moritz: *Ja, dann machst du es oben. Membranmodell-Beispiel ist das Flüssig-Mosaik-Modell. Beschreibt die Dynamik in der (Membranfläche?). [...] Flüssig-Mosaik-Modell. Beschreibt Dynamik. Dynamik beschreibt den Membranfluss und Membranfluss beschreibt die Membranfluidität.*

(Transkript\_Audio\_CMap\_WiSe18\_19\_Christina\_Moritz: 280 - 283)

An späterer Stelle wird das fachlich angemessene Verständnis über das Flüssig-Mosaik-Modell weiter ausgeführt. Dabei wird auch deutlich, dass Christina zwar fachlich angemessene Vorstellungen über das Konzept der Membranfluidität, nicht aber über das Konzept des Membranflusses aufweist. Dies wurde auch bei Moritz im Zitat zuvor deutlich. Ein angemessenes Verständnis über beide Konzepte ist allerdings notwendig, um die Dynamik der Kompartimentierung einer eukaryotischen Zelle nachvollziehen zu können.

Moritz: *Biomembran durch Membranmodelle beschrieben? Beschrieben durch. Oder vereinfacht durch. Oder wird dargestellt durch. Dargestellt durch Membranmodelle. Beispiel ist Flüssig-Mosaik-Modell. (Unv.) beschreibt Dynamik, beschreibt Membranfluss, beschreibt Membranfluidität.*

Christina: *Ich hätte gedacht, das ist das Gleiche.*

Moritz: *Membranfluss, ja. Ok. Dann können wir das...*

Christina: *Naja, warte mal. Das ist bestimmt nicht das gleiche.*

Moritz: *Membran fließt. Achso. Membranfluss. Aber Fluidität ist, dass die beweglich ist, oder? Membranfluss vielleicht... gute Frage. Membranfluidität. Schreib die Beweglichkeit und die Beweglichkeit wird gegeben durch... Im Text stand, glaube ich, dass die Proteine sich immer... die Lipide sich vertikal bewegen können. Horizontal nicht vertikal.*

Christina: *Wir können jetzt hier hinschreiben, dass die Phospholipiddoppelschicht beweglich ist.*

(Transkript\_Audio\_CMap\_WiSe18\_19\_Christina\_Moritz: 321 - 325)

### *Lernhindernisse im Lernprozess von Christina*

Ein zentrales Lernhindernis von Christina und Moritz sind fachlich unangemessene Vorstellungen über den Aufbau von Membranlipiden. Die einzelnen Bestandteile von Membranlipiden können nicht angemessen benannt werden. Stattdessen wird davon ausgegangen, dass es sich bei den Phospholipiden um den hydrophilen Bereich handelt, der wiederum an einen hydrophoben Bereich, die Kohlenwasserstoffketten angelagert ist. Fachlich angemessen wäre eine Beschreibung eines Phospholipids als Molekül, welches einen hydrophilen (Glycerin, Phosphatrest) und einen hydrophoben Bereich (Kohlenwasserstoffketten, bzw. Fettsäurereste) aufweist. Das Konzept der Amphiphilie wurde zwar in seinen Grundzügen verstanden, kann aber nicht auf die molekulare Struktur der Biomembran übertragen werden.

Christina: *Ja. Dann können wir dazu noch schreiben...Warte kurz. Weil es ...Also hydrophil sind die Lipide. Also dass wir die einzelnen Bausteine, einmal Phospholipide und einmal der Kohlenhydratrest, der hydrophobe. Weißt du was ich meine?*

Moritz: *Ja, die Kette in der Mitte.*

Christina: *Ja, einfach dass wir die Einzelbestandteile aufschreiben. Damit wir das zuordnen können. (...) Ist das ein Kohlenhydratrest? Ja. Sagt man das so?*

Moritz: *Eigentlich (..)*

Christina: *Stand, glaube ich, hier drin.*

Moritz: *In der Mitte ist ein Kohlenhydratrest?*

Christina: *Ja. (...) Kohlenwasserstoff. Achso.*

Moritz: *Sag ich doch. Ist etwas anderes.*

(Transkript\_Audio\_CMap\_WiSe18\_19\_Christina\_Moritz: 11-18)



Ein weiteres Lernhindernis, welches bis zum Ende der Bearbeitungszeit für die Concept Map nicht geklärt werden konnte, betrifft den Zusammenhang von Membranfluss und Membranfluidität. Die zugehörigen Zitate und sind ebenfalls in den Ausführungen zu den Schlüsselstellen ersichtlich.

*Christina: Stimmt, aber das beschreibt auch diese Dynamik und die Membran. Dieses Flüssig-Mosaik-Modell.*

*Moritz: Ja, dann machst du es oben. Membranmodell-Beispiel ist das Flüssig-Mosaik-Modell. Beschreibt die Dynamik in der (Membranfläche?). Einfach hier oben. Einfach nur aus Platz.*

*Christina: Wir können das auch einfach alles hier rüberschieben.*

*Moritz: Lass erstmal versuchen. Also Flüssig-Mosaik-Modell-Beispiel. Beschreibt Dynamik im Membranfluss. Membranfluidität. [...] Flüssig-Mosaik-Modell. Beschreibt Dynamik. Dynamik beschreibt den Membranfluss und Membranfluss beschreibt die Membranfluidität.*

(Transkript\_Audio\_CMap\_WiSe18\_19\_Christina\_Moritz: 280 - 283)

Da sich allerdings an vorheriger Stelle das Konzept des Flüssig-Mosaik-Modells interpretativ erschlossen wurde, könnte es auch sein, dass es sich um ein rein begriffliches Problem handelt und das Konzept des Membranfluss, d.h. die Dynamik von Membranbestandteilen durch Vesikelabschnürung, -transport und -fusion, verstanden wurde.

Es fällt Christina und Moritz weiterhin auch schwer, Begriffe aus dem universitären Wissen in die bestehende geäußerten Wissensbestände, die überwiegend aus Schulwissen bestehen, zu integrieren. Moritz äußert sehr häufig fachlich nicht angemessene Vorstellungen. Z.B. werden Lipid-Rafts von ihm als laterale Bewegungen von Phospholipiden innerhalb von Membranen interpretiert. Weiterhin geht er davon aus, dass eine Membran ausschließlich aus ungesättigten Fettsäuren besteht. Christina stellt diese Aussagen nicht in Frage. Man kann also nicht davon ausgehen, dass Christina zu diesen Konzepten über fachlich angemessene Vorstellungen verfügt oder zumindest ist sie nicht in der Lage diese zu äußern. Christina äußert aber, dass Sie den zu lesenden Text nicht vollständig gelesen habe. Moritz allerdings hat nach eigener Aussage den Text gelesen und äußert trotzdem (offensichtlich sehr stabile) fachlich unangemessene Vorstellungen.

Ein Lernhindernis, welches sich sowohl bei der Erstellung der Concept Map als auch bei der Formulierung der Sachanalyse zeigt, ist das, dass Christina den aktiven und passiven Transport über Biomembranen an Strukturen festmacht. Sie äußert die Vorstellung, dass der passive Transport über Diffusion und der aktive Transport über Transportproteine erfolgt. Auch der passive Transport kann allerdings über Transportproteine stattfinden, solange er in Richtung des Konzentrationsgefälles erfolgt. In diesem Fall spricht man von einer erleichterten Diffusion.

### *Christinas Anwendung von Wissen, um Konzepte zu identifizieren und um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren (Facetten 1 & 3)*

In der Arbeitsgruppe, die sich zu Bewältigung der Aufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten zusammengefunden hat, äußerte sich Christina gemeinsam mit Luisa sehr häufig. Amar verhielt sich eher passiv. Sie bearbeiteten die Aufgabenstellung sehr gewissenhaft. Als sehr bedeutsam für das Lernen über die Struktur und Funktion der Biomembran konnten von ihnen folgende Konzepte deklariert werden: Biomembran als Abgrenzungsstruktur, Biomembran dient der Kompartimentierung, Kompartimentierung

ermöglicht den Aufbau von Konzentrationsgradienten, Stoffwechselforgänge laufen geordnet ab, Stimulierung und Hemmung erfolgen nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip, die Biomembran ist gekennzeichnet durch eine Phospholipiddoppelschicht, Auf- und Umbau von Biomembranen finden ständig statt und Biomembranfunktionen werden durch Proteine bestimmt. Dies zeigen beispielhaft folgende Zitate:

Christina: [...] *Ich bin jetzt hier schon. Weil hier steht: „Nur so ist ein geordneter Ablauf unterschiedlicher Stoffwechselforgänge möglich.“*

Luisa: *Ja doch. Finde ich auch.*

Amar: *Stoffwechsel. Es ist implizit das Konzept, oder?*

Christina: *Ja würde ich sagen.*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 30 - 35)

Christina: *Hier das ist auch wieder ein Konzept oder? Phospholipiddoppelschicht.*

Luisa: *Aber hier habe ich z.B. noch eins. „Die Lipiddoppelschicht bildet die Grundstruktur der Membran und bestimmt deren Eigenschaften Stabilität und Flexibilität.“*

Christina: *Das ist gut. Nehmen wir.*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 52 - 54)

Luisa: *Ich finde tatsächlich eher den ersten Satz als Konzept: „Obwohl die Phospholipiddoppelschicht die Grundstruktur einer Biomembran ausmacht, werden die meisten Biomembranfunktion von den Proteinen bestimmt.“ Deswegen kommt denen jetzt so eine wichtige Bedeutung zu. Warum gibt es integrale, periphere. Also dass die Lipiddoppelschicht zwar wichtig ist, aber die Proteine quasi die Zell-Funktion ausmachen.*

Christina: *Ist halt nur so lang.*

Luisa: *Ja vielleicht...Ich hätte nur den zweiten Teil: „...werden die meisten Biomembranfunktion von den Proteinen bestimmt.“*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 87 - 89)

Von Christina und Luisa wird interessanterweise die Verwendung der horizontalen Reduktion „Kopf-/Schwanzbereich“ für den hydrophilen und hydrophoben Anteil von Phospholipiden angesprochen. Christina ist der Meinung, dass es sich dabei um eine Reduktion zur Veranschaulichung handelt. Luisa widerspricht ihr und sagt, dass es sich dabei um Fachbegriffe handelt und Fachwissenschaftler keinen anderen Begriff dafür haben.

Christina: *Ist Kopfbereich/ Schwanzbereich eine Reduktion?*

Luisa: *Das ist, glaube ich, echt ein biologischer Fachbegriff. Weil es steht auch echt in Fachliteratur.*

Christina: *Na gut, dann habe ich nichts gesagt. Ich dachte das ist eher zum Merken und Veranschaulichen.*

Luisa: *Ich glaube sie wissen auch gar nicht wie sie es anders nennen sollen.*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 48 - 51)

Christina möchte außerdem auch den „Plätzaustausch“ von Molekülen innerhalb der Biomembran als Vereinfachung verstanden haben. Auch hier widerspricht ihr Luisa und klärt Sie über die laterale Diffusion von Membranmolekülen auf. Letztendlich einigen Sie sich aber dennoch auf eine Vereinfachung.

Christina: *Ist, wenn jetzt hier steht: „...und ihre Plätze mit anderen benachbarten Molekülen zu tauschen.“ Also Plätze tauschen, ist eigentlich auch eine Vereinfachung, oder? Funktioniert bestimmt nicht so, dass die Proteine einfach die Plätze tauschen.*

Luisa: *Doch. Das geht tatsächlich. Ich glaube das hatten wir in den letzten Text irgendwie, dass Proteine so easy peasy einfach mal. Also so vereinfacht ja. Es ist die Frage, ob man das dann noch erklärt oder dann nicht zu viel ist.*

Christina: *Nein. Schon klar, aber deswegen steht es hier drin als Vereinfachung. (Unv.)*

(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 97 - 99)

Auch unpräzise Wortwahlen, wie „deutlich größer“ oder „sehr häufig“ werden von Christina als Reduktionen identifiziert.

*Christina: Jetzt sind auch viele...z.B. „Letztere sind allerdings deutlich größer.“. Wie größer? Oder bei dem anderen „Dieser Vorgang vollzieht sich in ihrer Zelle sehr häufig.“ ist auch (..)*  
(Transkript\_Audio\_Dekonst\_Amar\_Christina\_Luisa: 104 - 104)

Christinas Sachanalyse ist auf einem vergleichsweise hohen Niveau verfasst. Christina verwendet größtenteils universitäres Wissen und beschreibt die Prozesse der Endo- und Exocytose auf molekularer Ebene. Es finden sich keine fachlichen Hürden in ihrer Sachanalyse. Als Konzept benennt sie „Endocytose/Exocytose ist die Aufnahme/Abgabe von Stoffen durch die Abschnürung/Fusion von Vesikeln an der Plasmamembran“ (Sachanalyse\_Christina: 1: 730|571 - 1: 1016|675). Weiterhin beschreibt sie auch als Konzept, dass über „Clathrin-coated-vesicles rezeptorvermittelte Endocytose“ stattfindet (Sachanalyse\_Christina: 1: 720|444 - 1: 1046|516). Damit ist sie eine der wenigen Studierenden, die Bestandteile des universitären Wissens als Konzept kennzeichnen. Im von ihr im Anschluss verfassten Lerntext bringt sie dieses Konzept aus dem universitären Wissen nicht ein. Stattdessen kennzeichnet sie Konzepte aus dem Schulwissen: „Endocytose/Exocytose ist die Aufnahme/Abgabe von Stoffen durch die Abschnürung/Fusion von Vesikeln an der Plasmamembran“ (Lerntext\_Christina: 1: 649|551 - 1: 925|665) sowie „Rezeptorvermittelte Endocytose ist eine spezielle Form der Endocytose, bei der nur ausgewählte Stoffe die Membran passieren können“ (Lerntext\_Christina: 1: 648|402 - 1: 928|512).

Auch Reduktionen nimmt Christina bewusst vor und ist dabei eine der wenigen, die horizontale Reduktionen in Form von Metaphern als solche identifiziert und kennzeichnet. Beispielsweise kennzeichnet sie als Reduktion, wenn Sie Vesikel als „Bläschen“ (Lerntext\_Christina: 1: 648|661 - 1: 923|684) bezeichnet. Ebenso verhält es sich, wenn sie beschreibt, dass Proteine einen „Mantel“ um das Vesikel bilden. Die Reduktion beschreibt sie hier einerseits als sektoral, da sie die Proteine (Clathrin) nicht benennt und andererseits als horizontal durch die Verwendung des Begriffs „Mantel“ (Lerntext\_Christina: 1: 646|312 - 1: 937|403). Weiterhin kennzeichnet sie vorgenommene vertikale Reduktionen, indem sie die Beschreibung der molekularen Prozesse von Abschnürungs- und Fusionsprozess außen vor lässt.

### *Christinas Selbsteinschätzungen zum Lernprozess*

Zur kooperativen Erstellung der Concept Map hat Christina vor allem ihr Schulwissen herangezogen. Für „komplexere Sachen“, z.B. „Cholesterin und Glycerin“ benennt sie ihr Wissen, welches sie vor allem durch die Klausurvorbereitung zur Zellbiologie generiert hat, als Grundlage. Bezüglich der Relevanz der in der Concept Map aufgeführten Inhalte, gibt Christina an, diese für sehr relevant für die Ausübung ihres Berufes zu betrachten. Sie reflektiert hierbei, dass sie, obgleich sie diese Inhalte nicht auf universitärem Niveau unterrichten wird, das Wissen darüber trotzdem benötigt. Sie führt weiter aus, dass sie, wenn sie die Zusammenhänge auf einem höheren Niveau versteht, auch im Unterricht Sachverhalte besser erklären könne. (Transkript\_Interview\_CMap\_Christina: 3 - 23)

Christinas Wissen, welches sie zur Bewältigung der Aufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten angewendet hat, stammt (ihren Angaben nach) größtenteils aus der Schulzeit. Amar und Christina waren zur Bearbeitung der Dekonstruktionsaufgabe in der

gleichen Gruppe und Amar gab an, größtenteils universitäres Wissen verwendet zu haben. Insofern zeigt sich, dass die Auskünfte zur Herkunft des Wissens sehr individuell und bildungsbiographisch geprägt erfolgen. Christina gab bei einem Interview an, das Thema Endo- und Exocytose schon in der Schulzeit sehr intensiv behandelt zu haben (Christina\_Interview\_Rekonstruktion\_WiSe18: 2 - 2). Amar hingegen gab in einem Interview an „lediglich“ Biologie auf Grundkurs-Niveau in der Schule belegt zu haben.

Hinsichtlich der Relevanz der fachlichen Inhalte für die Ausübung des späteren Berufs sieht Christina diese (innerhalb dieser Lernaufgabe) als hoch an. Sie begründet dies vor allem mit der Unterrichtsvorbereitung und der Auswahl von Material, welches im Einklang mit den Lernzielen steht. (Transkript\_Interview\_Dekonstr\_Christina: 8 - 9)

Für die Erstellung der Sachanalyse gibt Christina im retrospektiven Interview an, einerseits auf ihr Schulwissen zur Strukturierung der Sachanalyse zurückgegriffen zu haben und andererseits auf ihr universitäres Wissen zur genaueren Beschreibung der Prozesse, beispielsweise bei der rezeptorvermittelten Endocytose (Christina\_Interview\_Rekonstruktion\_WiSe18: 2 - 2). Die Relevanz der Inhalte schätzt sie als hoch ein für die Ausübung ihres späteren Berufs. Sie hat außerdem für sich erkannt, dass ein umfassendes Verständnis über die Struktur und Funktion der Biomembran eine Voraussetzung für ein Verständnis über Endo- und Exocytoseprozesse ist (Christina\_Interview\_Rekonstruktion\_WiSe18: 6 - 8). Auch diese Erkenntnis von Christina kann man in der Beschreibung der Facette „Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren“, welches die „Einschätzung über benötigtes Vorwissen und Möglichkeiten des Aufbaus von Wissen“ beinhaltet, wiederfinden.

### *Bedeutung der Einzelfallanalyse von Christina für die Iteration*

Anhand von Christinas Lernpfad lassen sich mindestens drei Bedeutungen für die Iteration ausmachen. Erstens kann das Fluid-Mosaik-Modell genutzt werden, um die Dynamik der Biomembran im Rahmen von Membranfluidität und in der Konsequenz auch von Membranfluss zu erläutern. Über das Fluid-Mosaik-Modell bestehen häufig ansatzweise fachlich angemessene Vorstellungen, an die angeknüpft werden kann.

Der Stofftransport über Membranen sollte auf Konzeptebene erläutert werden. Der Konzentrationsgradient sollte dabei als Ansatzpunkt dienen, um aktiven und passiven Transport zu erläutern. Erst daraufhin sollte die Funktionsweise spezifischer Strukturen, wie beispielsweise Porine, Kanäle, Carrier und Pumpen erläutert werden. Dadurch kann der fachlichen nicht haltbaren Erläuterung von aktivem und passivem Transport, der sich rein über die verschiedenen Strukturen erklärt, entgegengewirkt werden.

Hinsichtlich der Struktur von Membranlipiden kann bei Christina, so wie bei einer Vielzahl ihrer Mitstudierenden, von einem sehr basalen Verständnis ausgegangen werden. Die Molekülstruktur wird sich über Analogien („Kopf- und Schwanz“) verständlicher gemacht. Dieses Verständnis ist allerdings nicht ausreichend, um beispielsweise die Bedeutung ungesättigter Fettsäuren in den Membranen oder um die Unterschiedlichkeit verschiedener Membranlipide, wie z.B. Phospholipide, Shingolipide oder Cholesterin zu erläutern. Zwar wird von Christina angemerkt, dass es sich bei der Verwendung der Begriffe „Kopf- und Schwanz“ um eine Reduktion handeln könnte, sie verwirft dies allerdings wieder. Für die

Iteration bedeutet dies, dass die Bezeichnung „Kopf und Schwanz“ in Zukunft als Beispiel für eine horizontale Reduktion herangeführt werden sollte.

In der Arbeitsgruppe, die sich zur Bearbeitung der Aufgabe zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten zusammengefunden hat, wurde sich stark an der Aufgabenstellung und den Leitfragen orientiert. Im Zyklus 3 wurde sich von Seiten der Seminarleitung verstärkt auf die Erläuterung der Aufgabenstellung konzentriert und es wurden mehr Good-Practice-Beispiele zur exemplarischen Bearbeitung der Aufgabenstellung herangezogen. Darauf konnte sich in der Arbeitsgruppe um Christina häufig bezogen werden.

### **16.3.3 Zusammenfassung vorgenommener Iterationen nach Zyklus 3**

Die Sequenzierung des Lehr-Lernarrangements und die bereits nach Zyklus 2 reduzierten Lernaufgaben haben sich bewährt. Auch die umfangreichen Erläuterungen zur Bewältigung der Aufgabenstellungen (inklusive der vorgestellten Good-Practice-Beispiele) wurden von mehreren Studierenden zur erfolgreichen Bearbeitung der Aufgabenstellung aufgegriffen.

Die vorgenommenen Iterationen nach Zyklus 3 betreffen größtenteils einzelne fachliche Konzepte, die vor allem in Plenumsdiskussionen oder in die Erläuterungen durch die Seminarleitung mit aufgenommen werden. Die Bedeutung des Cytoskeletts für die Stabilisierung und den Transport in der Zelle wird hervorgehoben. Die Auseinandersetzung mit dem Cytoskelett wird daher bereits bei der Erstellung der Concept Map gefordert, indem der Begriff in die Liste der hinzuzufügenden Begriffe aus dem universitären Wissen mit aufgenommen wird.

Weiterhin wird die Auseinandersetzung mit der fachlichen Reduktion „Kopf“ und „Schwanz“ im Hinblick auf die Struktur der Membranlipide im Lehr-Lernarrangement vorgezogen. Wurde diese Reduktion zuvor nach der Dekonstruktion von Schulbuchtexten besprochen, wird sie nun bereits bei der Dekonstruktion von Open-Source-Materialien diskutiert.

Auch die Bedeutung des Fluid-Mosaik-Modells für ein angemessenes Verständnis über Membranfluidität wird hervorgehoben. Diese Auseinandersetzung wird bereits im starken Maß durch den Schulbuchtext zur Dekonstruktion gefördert. Zusätzlich wird auch in der Ergebnispräsentation verstärkt auf den Zusammenhang der beiden Konzepte fokussiert.



## 17 Zusammenfassende Iteration der Design-Prinzipien aus allen drei Zyklen

Im Folgenden werden die Iteration und ihre Bedeutung hinsichtlich der Design-Prinzipien verdeutlicht.

Die drei nach dem Pilotzyklus entwickelten Design-Prinzipien (s. Tabellen 16, 17, 18) haben sich im Design bewährt und wurden Zyklus für Zyklus hinsichtlich der Umsetzungsprinzipien und der adressatengemäßen Strukturierung ausdifferenziert. Grundlage für die Ausdifferenzierung sind die fallübergreifenden Analysen und die Einzelfallanalysen.



Die Begründungen für die vorgenommenen Iterationen können den Abschnitten zur vorgenommenen Iteration nach den jeweiligen Zyklen (s. Kapitel 16.1.3., 16.2.3., 16.3.3.) entnommen werden. Die Tabellenform zur Operationalisierung der Design-Prinzipien in Anlehnung an Hiller (2017) wurde beibehalten. Zusätzlich wurden Symbole zur Kennzeichnung der Art der vorgenommenen Änderungen eingefügt (s. Tabelle 38).

Tabelle 38 *Legende zu Symbolen und Kennzeichnungen für die vorgenommenen Änderungen hinsichtlich der Design-Prinzipien*

Legende zu den vorgenommenen Änderungen	
✓ beibehalten	☆ <u>neu</u>
 <u>modifiziert</u>	☆ <u>[neu - noch nicht umgesetzt]</u>
 <u>reduziert</u>	(2) - Änderung umgesetzt ab Zyklus 2
<u>gestrichen</u>	(3) - Änderung umgesetzt ab Zyklus 3

Hinsichtlich des Designprinzips „Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext explizieren“ wurden zum einen Änderungen hinsichtlich einer verstärkten Förderung der Verknüpfung von Schulwissen und universitären Wissen vorgenommen (s. Tabelle 39). Zum anderen wurden auch die Aufgabenstellungen der einzelnen Lerngelegenheiten mehr und mehr hinsichtlich der zentralen Aspekte des Konstrukts des *erweiterten Fachwissens* formuliert. Einige Leitfragen, die ursprünglich formuliert wurden, weil sie für die Studierenden leichter zugänglich erschienen (z.B. die Analyse „kritischer Formulierung“ oder die Beschreibung eine „größeren Sinnzusammenhangs“) führten dazu, dass die Leitfragen nicht trennscharf bearbeitet werden konnten. Leitfragen, die nicht explizit dem Konstrukt des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* zugeordnet werden konnten, wurden daher im Laufe der Iteration reduziert.

Tabelle 39 *Vorgenommene Iterationen hinsichtlich des Designprinzips „Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext explizieren“*

Designprinzip	Umsetzungsprinzipien	Adressatengemäße Strukturierung des Lernprozesses
<b>Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext explizieren</b>	Leitfragen werden auf Grundlage des Konstrukts des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext formuliert	✓ Bei der kooperativen Erstellung der Concept Map werden Konzepte identifiziert und verknüpft
		 Bei der kooperativen Erstellung der Concept Map wird die Verknüpfung zwischen universitärem Wissen und Schulwissen explizit gefordert, ☆ <u>indem ausgewählte Begriffe aus dem universitären Wissen mit eingebracht werden sollen (2)</u>
		 Bei der Dekonstruktion schulischer Materialien werden Konzepte, <del>fachliche Fehler</del> , <del>kritische Formulierung</del> , ☆ <u>Reduktionen und deren mögliche Folgen für das fachliche Lernen (2)</u> identifiziert und benannt

		✍ Bei der Erstellung der Sachanalyse werden <del>zentrale Begriffe und Zusammenhänge</del> <u>größere Sinnzusammenhänge</u> sowie Konzepte identifiziert, eigenständig formuliert und Vorwissen benannt.
		✓ Bei der Erstellung des fachlichen Lerntextes werden Konzepte formuliert, Reduktionen bewusst vorgenommen und als solche benannt, Vorwissen identifiziert und Anknüpfungspunkte für das weitere fachliche Lernen benannt
	Themenauswahl erfolgt auf Grundlage von hohem Schul- und Studiumsbezug	✍ Biomembran als Schul- und akademisch relevantes Thema im RLP und anhand der Vorlesungs-Unterlagen <del>erarbeiten lassen</del> <u>aufzeigen</u>
		✍ Biomembran als Thema im Studium disziplinenübergreifend <del>erarbeiten lassen</del> <u>aufzeigen</u>
	Für die Lernaufgaben werden authentische schul- und studiumsbezogene Materialien herangezogen	✍ Studiumsbezogene <u>verkürzte und vorstrukturierte Lehrbuchtexte (2) Lehrbücher</u> und Unterlagen werden zur Verfügung gestellt
		✍ Schülervorstellungen zur Zelle werden <del>beurteilt</del> kennengelernt
		✍ Schulbezogene Open-Source-Materialien werden ☆ <u>ausschließlich zur Identifikation von fachlichen Fehlern</u> <u>fachlichen Reduktionen</u> herangezogen
		✍ Zur Identifikation von Konzepten, <del>kritischen Formulierung</del> und fachlichen Reduktionen und deren möglichen Folgen werden Schulbuchtexte herangezogen

Das Designprinzip „Vorwissen aktivieren“ wurde durch die Iteration zunehmend gefördert (s. Tabelle 40). Es wurden einerseits mehr Gelegenheiten bereitgestellt, um das Vorwissen zu aktivieren (z.B. zusätzlicher Text zu Beginn der Lehrveranstaltung, Glossar). Andererseits wurde die Komplexität der Angebote zur Reaktivierung des Vorwissens reduziert, indem das zur Verfügung gestellte Material gekürzt und vorstrukturiert wurde.

Darüber hinaus wurde von einer strengen zeitlichen Trennung der Nutzung des eigenen abrufbaren Vorwissens und dem Heranziehen von Literatur bei fachlicher Unsicherheit abgewichen. Zugunsten des Ausbaus von Kontrollgelegenheiten wurden die Studierenden aufgefordert, Literatur zu Rate zu ziehen, sobald fachliche Unsicherheiten oder Uneinigkeiten auftraten.

Tabelle 40 Vorgenommene Iterationen hinsichtlich des Designprinzips „Vorwissen aktivieren“

Designprinzip	Umsetzungsprinzipien	Adressatengemäße Strukturierung des Lernprozesses
<b>Vorwissen aktivieren</b>	Vorwissen aus den Lerngelegenheiten Schule und Vorlesungen strukturieren	✗ <u>reduzierte</u> ✍ <u>und vorstrukturierte (2) fachliche Hilfen</u> (universitäre Lehrbücher, Vorlesungsunterlagen) zur Reaktivierung von universitärem Wissen während der Lernaufgaben bereitstellen
		✓ Erstellung einer koop. Concept Map zur Reaktivierung und persönlichen Differenzierung von Schulwissen und universitären Wissen
		☆ <u>Glossar zur Reaktivierung des Vorwissens zur Verfügung stellen (während Erstellung der C-Map) (3)</u>
		☆ <u>Text zur Reaktivierung des Vorwissens zur Verfügung stellen (als HA) (3)</u>
	Vorwissen bei Sequenzierung des	✗ <u>reduzierter</u> Vorwissenstest zum Verdeutlichen der eigenen Fachperspektive und Wissenslücken

	Seminars berücksichtigen, d.h. Vorwissen erst aktivieren/auffrischen und dann anwenden	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ koop. C-Map zum Verdeutlichen der eigenen Fachperspektive und Wissenslücken, zum Reaktivieren von Fachwissen</li> <li>✎ <u>Dekonstruktion</u> zum Reaktivieren und Nutzen von Fachwissen</li> <li>✎ <u>Rekonstruktion einer Sachanalyse</u> zum Reaktivieren und Nutzen von Fachwissen</li> <li>✎ <u>Rekonstruktion eines fachlichen Lerntextes</u> zum Nutzen von Fachwissen</li> </ul>
	Vorwissen und eigene Fachperspektiven bei Strukturierung der Lernaufgaben berücksichtigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <del>Vorerst ausschließlich eigenes Wissen anwenden (3)</del></li> <li>✓ <del>ausschließlich zur Korrektur fachliche Hilfen nutzen (3)</del></li> <li>✎ <u>erst fachliche Perspektiven diskutieren und bei Uneinigkeit/Unsicherheit gleich fachliche Hilfen heranziehen (3)</u></li> </ul>
	Reflexion der Herkunft von Wissen ermöglichen	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Verknüpfung von Schulwissen und universitärem Wissen an Beispielen explizit machen</li> <li>✓ Herkunft von Wissen retrospektiv benennen</li> </ul>

Die vorgenommenen Iterationen hinsichtlich des Designprinzips „Dekonstruktion und Rekonstruktion“ betrafen größtenteils die Reduktion der jeweiligen Aufgabenstellungen (s. Tabelle 41). Im Laufe der Iteration hat sich vor allem die Fülle von Leitfragen als zu umfangreich herausgestellt, um von den Studierenden im zufriedenstellenden Maß bearbeitet werden zu können. Es wurde sich daher vor allem auf Leitfragen, die explizit auf das Konstrukt des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* fokussieren, beschränkt.

Tabelle 41 Vorgenommene Iterationen hinsichtlich des Designprinzips „Dekonstruktion und Rekonstruktion“

Designprinzip	Umsetzungsprinzipien	Adressatengemäße Strukturierung des Lernprozesses
<b>Dekonstruktion und Rekonstruktion</b>	Dekonstruktion schulbezogener textlicher Materialien erfolgt kriteriengeleitet	Analyse von Open-Source-Materialien hinsichtlich <del>fachlicher Angemessenheit</del> ✎ <u>fachlicher Reduktionen</u> (3)
		Schulbuch: <del>korrekte Verwendung von Metaphern und Analogien beurteilen</del> (2)
		Schulbuch: <del>hinreichende Erläuterung von Fachbegriffen beurteilen</del> (2)
		✎ Schulbuch: Identifikation von Konzepten (explizit/implizit) (2)
		✎ Schulbuch: Identifikation von Reduktionen (2)
		✎ Schulbuch: Identifikation von Folgen von Reduktionen (2)
	Rekonstruktion schulbezogener textlicher Materialien erfolgt kriteriengeleitet	✓ Sachanalyse und Lerntext: Beschreibung elementarer Zusammenhänge
		Sachanalyse und Lerntext: Benennung von Konzepten <del>und Basiskonzepten</del> (explizit/implizit) (2)
		✓ Sachanalyse und Lerntext: benötigtes Vorwissen identifizieren
		Sachanalyse <del>und Lerntext</del> (2): Zusammenhänge mit anderen Themen aufzeigen
		Sachanalyse: <del>Größeren Sinnzusammenhang beschreiben</del> (3)



		✓ Sachanalyse: Bedeutung des Themas für die Fachwissenschaft
		<del>Lern</del> text: Beispiele für Konzepte identifizieren (2)
		✓ Lerntext: Beschreibung von bewusst vorgenommenen Reduktionen
		✓ Lerntext: Ansatzmöglichkeiten für aufbauendes Fachwissen identifizieren
	Die Sequenzierung der Lernaufgaben zur Dekonstruktion und Rekonstruktion erfolgt nach steigender Schwierigkeit	✓ Zunächst an vorgegeben authentischen Beispielen (Open Source-Materialien, Schulbuchtexte) eine dekonstruierende Analyse vornehmen
	✓ Darauffolgend auf Grundlage des reaktivierten und erarbeiteten eigenen konzeptuellen Wissens eine Rekonstruktion schulischer Materialien vornehmen	

# Diskussion

## 18 Ergebnisdiskussion

Durch das qualitative und entwicklungsorientierte Design gingen bereits in die Ergebnisdarstellung der Einzelfälle zahlreiche interpretative Aussagen ein. Diese Verschränkung von Ergebnisdarstellung und Ergebnisdiskussion war notwendig, um die jeweiligen Iterationsschritte begründet darzulegen. Auch die Hauptforschungsfrage („Wie kann eine Lerngelegenheit für Lehramtsstudierende der Biologie gestaltet sein, um ein *erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext* für den zellbiologischen Themenbereich „Struktur und Funktion der Biomembran“ zu fördern?“) wurde durch die Beschreibung der Iteration und die Darstellung des letztendlichen Lehrveranstaltungsdesigns weitestgehend beantwortet.

Im Zuge dessen werden in diesem Diskussionsteil der Arbeit lediglich übergreifende und zusammenfassende Diskussionsanlässe hinsichtlich der untergeordneten Forschungsfragen, dem Beitrag zur lokalen Theoriebildung und der Methoden aufgegriffen.

### 18.1 Anwendung von Schulwissen und universitären Wissen (FF 1.1)

Die Lehrveranstaltung „Aufarbeitung universitären Fachwissens für schulische Kontexte“ war additiv im Curriculum für Lehramtsstudierende der Biologie verankert. Das Design der Lehrveranstaltung war explizit *nicht* darauf ausgelegt *neues* Fachwissen zu vermitteln. Vielmehr wurde davon ausgegangen, dass die Studierenden auf vorhandenes Fachwissen zurückgreifen und Angebote nutzen ihr Fachwissen zu reaktivieren.

Insgesamt wurde zu Beginn der Studie jedoch angenommen, dass die Studierenden über mehr abrufbares zellbiologisches Fachwissen verfügen. Die Modulprüfung wurde von fast allen Studierenden der Stichprobe erfolgreich bestanden. Bei den meisten Studierenden lag das Absolvieren von Vorlesung und Prüfung nicht länger als zwei Semester zurück. Im Vorwissenstest zeigten jedoch die meisten Studierenden über alle Zyklen hinweg fachlich nicht angemessene Vorstellungen. Dies betraf Konzepte des universitären Wissens, aber häufig auch Konzepte des Schulwissens. Die Studierenden der Stichprobe schätzen jedoch die Auseinandersetzung mit zellbiologischen Inhalten aus dem universitären Wissen als weniger interessant ein als die Auseinandersetzung mit den zellbiologischen Inhalten aus dem Schulwissen. Die Wichtigkeit der Auseinandersetzung mit schulischen und universitären zellbiologischen Inhalten wird allerdings als gleich wahrgenommen. Auch ihr selbst eingeschätztes Fachwissen hinsichtlich der Zellbiologie bezeichnen die meisten befragten Studierenden als niedriger im Vergleich zu anderen Themen der Biologie. Insofern wäre es durchaus möglich, dass das abrufbare Vorwissen für andere Bereiche der Biologie (z.B. Genetik oder Ökologie) höher ausfallen würde. Dann würde weniger Zeit für die Reaktivierung von Fachwissen benötigt werden und es könnte mehr aktive Lernzeit zur Verknüpfung von Konzepten aus dem Schulwissen und universitären Wissen verwendet werden.

In der Lehrveranstaltung wurde deshalb auf diesen Sachverhalt reagiert, indem iterativ vermehrt Anlässe zur Verfügung gestellt wurden, um träges Fachwissen schnell und präzise

zu reaktivieren. In den retrospektiven Interviews gaben die meisten Studierenden auch erwartungskonform an, innerhalb der Lerngelegenheiten fachlich nichts neues dazugelernt zu haben, sondern ihr Fachwissen lediglich aufgefrischt zu haben.

Die Verknüpfung von Schulwissen und universitärem Wissen fiel vielen Studierenden daher vergleichsweise schwer. Es mussten explizite Gelegenheiten geboten werden, wie z.B. die Hinzugabe von Begriffen aus dem universitären Wissen bei der kooperativen Erstellung der Concept Map. Vor allem die Reaktivierung von universitärem Wissen erwies sich als sehr zeitintensiv. Dementsprechend wurde die zur Verfügung gestellten fachlichen Hilfen vorstrukturiert und in ihrem Umfang und in ihrer Komplexität reduziert.

Um die Verknüpfung beider Wissensbereiche zu fördern, haben sich vor allem die Lerngelegenheiten zur Erstellung einer kooperativen Concept Map, zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten und zur Rekonstruktion einer konzeptorientierten Sachanalyse als vorteilhaft herausgestellt. Die Concept Map wurde zunächst häufig auf dem Niveau des Schulwissens erstellt. Durch die Hinzugabe der Begriffe aus dem universitären Wissen wurden die Studierenden explizit aufgefordert, die Wissensbereiche zu verknüpfen. Obgleich dies einigen Studierenden schwerfiel und selten alle Begriffe aus dem universitären Wissen integriert werden konnten, wurden vor allem gemeinsame Diskussionsanlässe geschaffen, um ein Verständnis über fachliche Konzepte zu verbalisieren.

Die Mehrzahl der Studierenden gab bei den retrospektiven Interviews an, hinsichtlich der Anwendung des Wissens vom Schulwissen als Ausgangspunkt vorgegangen zu sein. Die grobe Struktur (beispielsweise der Concept Map oder der konzeptorientierten Sachanalyse) ergab sich demnach für sie aus dem Schulwissen. Universitäres Wissen wurde für die Beschreibung detaillierterer Sachverhalte hinzugefügt.

Fast alle Studierenden gaben (im Prätest) ein deutlich höheres Interesse an schulisch vermittelter Biologie als an universitär vermittelter Biologie an. Es wird dadurch deutlich, dass sie einen qualitativen Unterschied zwischen den Inhalten wahrnehmen. Ein geringes Interesse an universitär vermittelten fachlichen Inhalten birgt die Gefahr, dass die Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit dem Gegenstand sinkt (s. Kapitel 5.3).

Da das Interesse an in der Schulbiologie vermittelten Inhalten häufig hoch bis sehr hoch ist, liegt eine stärkere explizite Verknüpfung der universitär vermittelten Inhalte mit den schulisch vermittelten Inhalten nahe. Das Interesse an universitär vermittelter Biologie könnte so bei Lehramtsstudierenden eventuell gesteigert werden. Dies gilt auch für die Inhalte der Zellbiologie.

## **18.2 Entwicklung der fachlichen Studierendenkonzepte (FF 1.2)**

Wie durch die Spezifizierung des fachlichen Gegenstands (s. Kapitel 11.1) gezeigt werden konnte, ist ein Verständnis über die Struktur und Funktion der Biomembran als äußerst wichtige Voraussetzung für das Verständnis physiologischer Strukturen, Funktionen und Prozesse zu begreifen.

Insgesamt zeigte sich im Laufe der Lehrveranstaltung, dass sich die fachlichen Konzepte bei fast allen Studierenden hin zu fachlich angemesseneren Formen entwickelten. Was bereits

Kirschner, Sweller und Clark (2006) in ihrer Metastudie aufzeigen, zeigt sich auch hier. Besonders Studierende mit einem großen Vorwissen profitieren von der vergleichsweise offenen Lernumgebung und vermitteln vor allem im Posttest ein differenziertes Verständnis von zentralen Konzepten. Durch den stark kooperativen und kommunikativ geprägten Charakter der Lernumgebungen profitieren allerdings auch Studierende mit einem geringeren Vorwissen, indem bedeutende Konzepte gemeinsam mit Mitstudierenden erarbeitet und diskutiert werden. Fachlich unangemessene Vorstellungen, die jedoch nicht als solche von anderen Gruppenmitgliedern erkannt und in Frage gestellt werden, bleiben (vorerst) bestehen. Dies macht weitere Korrektive (z.B. die Korrektur und Kommentierung der Concept Map durch die Seminarleitung oder der vorgenommene Vergleich mit einer Experten Map) notwendig.

Es konnte jedoch auch gezeigt werden, inwiefern stabile Alltagsvorstellung, bzw. Hybridvorstellungen bei Lehramtsstudierenden bestehen. Diese werden im ungünstigsten Fall nicht bis zum Ende des Studiums in fachlich angemessene Formen überführt und letztendlich in der späteren Tätigkeit als Lehrkraft reproduziert.

### **18.2.1 Fallübergreifende Schlüsselstellen in Lernprozessen**

Im Allgemeinen lässt sich festhalten, dass sich Schlüsselstellen nicht fallübergreifend ausmachen lassen. Schlüsselstellen sind sehr individuell (bzw. gruppenbezogen), weil innerhalb der Arbeitsgruppen oder Einzelarbeiten verschiedene inhaltliche Schwerpunkte gesetzt wurden. Dies wurde durch die relative Offenheit der Aufgabenstellung zugelassen.

Schlüsselstellen traten jedoch häufig durch die Zuhilfenahme von Literatur oder durch die Erklärung von Mitstudierenden auf. In einigen Fällen wurden sich Konzepte auch durch die Verknüpfung mit anderen Konzepten interpretativ erschlossen.

Durch die Förderung von kooperativen Lernformen wurde erwartet, dass sich lernförderliche kognitive Konflikte dadurch entwickeln, dass sich auf die Bedeutungen von Konzepten festgelegt werden muss. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass kognitive Konflikte nicht zwangsläufig lernförderlich im Sinne der fachlichen Angemessenheit sein müssen. Z.T. trat auch der Fall auf, dass sich kooperativ auf ein fachlich unangemessenes Konzept festgelegt wurde. Hierfür müssen verstärkt Kontrollmechanismen, (beispielsweise in Form von Feedback durch die Seminarleitung oder eine andere Studierendengruppe) bereitgestellt werden. Auch muss sich in diesem Lernsetting nicht zwangsläufig auf nur eine Bedeutung eines Konzepts festgelegt werden. Teilweise können mehrere Bedeutungen nebeneinander existieren.

Insgesamt wurden auch weniger Versuche als erwartet unternommen, sich gegenseitig fachliche Konzepte zu erklären. Dies lässt sich auf Vermeidungsstrategien oder auch die eigene fachliche Unsicherheit zurückführen.

### **18.2.2 Fallübergreifende typische Hürden in Lernprozessen**

Im Gegensatz zu den Schlüsselstellen lassen sich bestimmte typische Hürden im fachlichen Lernprozess ausmachen, die fallübergreifend zu finden sind. Hinsichtlich der typischen Hürden lässt sich feststellen, dass auch bei den untersuchten Studierenden

Hybridvorstellungen (Jung 1993) auftauchen. Wissenschaftlich angemessene Vorstellungen werden hier mit Alltagsvorstellungen kombiniert.

Eine dieser Hybridvorstellungen betrifft in diesem Fall das Konzept „die Biomembran bietet Schutz“ (vgl. Fälle Tobias und Christina). Hiermit wird vor allem auf die Funktion der Biomembran als Abgrenzungsstruktur abgezielt. Die Biomembran kann jedoch aufgrund ihrer fluiden Struktur keinen mechanischen Schutz bieten. In diesem Zusammenhang wird der Biomembran von vielen Studierenden ebenfalls eine *formgebende* Funktion zugesprochen. Dies kann (wie im Fall Tobias) dazu führen, dass sich die Biomembran als *Wand* vorgestellt wird.

Eine Ursache für diese Vorstellung könnte in früheren (v.a. schulischen) Vermittlungsangeboten liegen. Zur Veranschaulichung von Zellfunktionen vergleichen zahlreiche Lernangebote Zellen mit Fabriken (z.B. Bach 2018) mit Städten (Kwasniewski et al. 2010/2011; Wegner und Borgmann 2012) oder benennen Mitochondrien als „Kraftwerke der Zelle“ (z.B. Schleiff 2009; Corts 2017). In diesen Fällen werden Biomembranen als Wände, Mauern oder Zäune dargestellt. Eine unreflektierte Nutzung dieser Metaphern kann jedoch dazu führen, dass ein Verständnis ausschließlich auf die Metapher zurückgeführt wird. Es resultiert z.B. die Vorstellung, dass eine Biomembran *Schutz* bietet. Funktionszusammenhänge, die durch die Metapher deutlich werden, überlagern jene, welche durch die Metapher nicht abgebildet werden können. Bestimmte Aspekte eines fachlichen Sachverhalts werden durch eine Metapher hervorgehoben (Abgrenzungsfunktion), andere werden vernachlässigt (die Biomembran als Ort für biochemische Aktivität) oder widersprechen sogar der Metapher (Eigenschaft der Fluidität). Metaphern nehmen in diesem Fall eine Modellfunktion ein. In diesem Sinne ist es förderlich auch in Lehr-Lernmaterialien eine Modellkritik zu üben, wie es bei Wegner und Borgmann (2012) oder Gemballa und Markl (2010) der Fall ist.

Eine weitere weit verbreitete Vorstellung ist die der Struktur von Membranlipiden bestehend aus einem „Köpfchen“ und „Schwänzchen“. In dieser horizontalen Reduktion wird der hydrophile Bereich von Membranlipiden als „Köpfchen“ und der hydrophobe Bereich als „Schwänzchen“ bezeichnet. Auch hier können als Ursache frühere Lerngelegenheiten benannt werden, welche die Orientierung der Membranlipide, als Analogie zu der Kinderliedzeile „Köpfchen in das Wasser, Schwänzchen in die Höh“ darstellen. Claudia benennt hier explizit die Schule als Herkunft für diesen „Merksatz“. Die Analogie würde allerdings ausschließlich für die Bildung von Monolayern auf wässrigen Oberflächen gelten. Im physiologischen Kontext bilden Membranlipide jedoch immer Lipidaggregate in Form von Micellen oder Bilayern. Allerdings greifen auch Standardlehrwerke auf diese oder verwandte Metaphern („Kopf“ und „Schwanz“) zurück (Plattner und Hentschel 2006, S. 71; Alberts und Graw 2012, S. 391; Campbell et al. 2016, S. 164).

Generell stellt die molekulare Struktur von Membranlipiden (insbesondere Phospholipiden) ein häufiges Lernhindernis dar. Sobald ein Verständnis gefordert war, das das rein phänomenologische Wissen von hydrophilen und hydrophoben Bereichen und deren Zusammenlagerung angeht, war die Mehrzahl der befragten Studierenden nicht auskunftsfähig. Ein angemessenes Verständnis über die molekularen Strukturen ist allerdings von großer Wichtigkeit, um Konzepte zur Beschaffenheit der Membran, wie Amphiphilie oder Membranfluidität nachvollziehen zu können. Cholesterin oder

Lipidbestandteile, wie ungesättigte Fettsäuren, können die Fluidität der Membran je nach physiologischem Kontext verändern.

Als weiteres typische Lernhindernis kann die strikte Zuordnung von Strukturen und Stoffen zu aktivem und passivem Transport beschrieben werden. Das eigentliche Unterscheidungskriterium für aktiven und passiven Transport – die Transportrichtung in Abhängigkeit zum Konzentrationsgefälle und somit die Notwendigkeit eines Energieaufwands – wird häufig vernachlässigt (s. Fälle Claudia und Christina). Dieser Vorstellung sollte auch im Schulunterricht entgegengewirkt werden, indem die Konzepte des Konzentrationsgefälles und der Diffusion den konkreten passiven und aktiven Transportmechanismen vorangestellt werden.

### **18.3 Entwicklungen der wahrgenommenen Berufsrelevanz fachlicher Inhalte (FF 1.3)**

Die Entwicklung von der wahrgenommenen Relevanz fachlicher Inhalte für die Ausübung des späteren Berufs war zu Beginn der Studie vor allem aus motivationspsychologischen Gründen interessant. Eine als unzureichend wahrgenommene Berufsrelevanz der Studieninhalte kann zu einer geringen Studienmotivation, zu einer niedrigeren Anstrengungsbereitschaft und in der Konsequenz auch zu Studienabbruch führen (s. Kapitel 5.4).

Darüber hinaus hat sich im Antwortverhalten herausgestellt, dass vor allem hinsichtlich des Konstrukts der wahrgenommenen Berufsrelevanz und woran diese festgemacht wird, sehr unterschiedliche Vorstellungen bestehen.

Im häufigsten Fall wird die Berufsrelevanz fachlicher Inhalte an einer augenscheinlichen Nähe zum Schulwissen festgemacht. Sobald ein fachlicher Sachverhalt Schüler\*innen nicht direkt vermittelt wird, wird er als weniger relevant für die Ausübung des späteren Berufs eingeschätzt. Dies deutet darauf hin, dass der Beruf der Lehrkraft auf die Durchführung des Unterrichts reduziert wird. Hierbei muss festgehalten werden, dass es sich bei den untersuchten Studierenden der Stichprobe um Bachelorstudierende im mehrheitlich vierten oder fünften Fachsemester ohne eigene Unterrichtserfahrung handelt. Das Berufsverständnis ist demnach sehr durch die eigene Bildungsbiografie und Schülerperspektive geprägt – ein Perspektivwechsel ist häufig noch nicht erfolgt. Die Lernumgebungen versuchen dem, durch authentische berufsbezogene Aufgaben, die mehr Fachwissen als das bloße Schulwissen erfordern, entgegenzuwirken. Dennoch ist die Bildungsbiografie der Studierenden eine Tatsache, an der sich orientiert wird und die nicht verschwiegen werden kann. Diese persönlichen Perspektiven sollten daher aktiv in geeignete lehramtsbezogene Lehrveranstaltungen mit einbezogen werden. Stets im Bewusstsein dessen, dass darüber Vorstellungen über die Bedeutung von Inhalten für den Lehrerberuf rühren.

Über diese Perspektive hinaus, die das Schulwissen als Maßstab für die Berufsrelevanz fachlicher Inhalte festmacht, geht die Auffassung, dass Lehrkräfte „mehr“ wissen müssen als Schüler\*innen. Dieses „mehr“ wird seitens der Studierenden selten ausgeführt. Deutlich wird nur, dass das in der Universität vermittelte Fachwissen über dieses „mehr“ hinausgeht. Im Rahmen dieser Lehrveranstaltung wurden die Studierenden aufgefordert dieses „mehr“

zu explizieren und exemplarisch für Inhalte hinsichtlich der Struktur und Funktion der Biomembran auszuarbeiten.

Die wahrgenommene Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens für die Ausübung des späteren Berufs hat sich leicht gesteigert. Nach der Lehrveranstaltung innerhalb der Laut-Denken-Studie gab es keine Antworten mehr, die das universitär vermittelte Fachwissen undifferenziert als „nicht relevant“ bezeichneten. Im Prätest war dies noch bei sieben Studierenden der Fall. Die Relevanz der im Seminar behandelten Inhalte wird durchgehend als hoch bewertet. Dies zeigt sich durch die retrospektiven (Partner)-Interviews, die im Anschluss an die Lerngelegenheiten durchgeführt wurden. Insofern ist die Lehrveranstaltung auch dazu geeignet, die Berufsrelevanz fachlicher Inhalte, die über das Schulwissen hinausgehen, zu reflektieren.

#### **18.4 Anwendung des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext und Implikationen hinsichtlich der Ausgestaltung des Konstrukts**

Die Auseinandersetzung mit dem *erweiterten Fachwissen für den schulischen Kontext* fordert von den Studierenden eine Anwendung und Verknüpfung von schulischem und universitärem Wissen in einem berufsbezogenen Modus. Es ist durch den reinen Bezug auf den fachlichen Sachverhalt, durch die Trennung vom fachdidaktischen Wissen und durch den expliziten Ausschluss der Perspektive von Schüler\*innen gut geeignet, um sich bereits zu Studienbeginn berufsbezogen mit Fachinhalten auseinanderzusetzen. Es konnte gezeigt werden, dass den Studierenden die Relevanz der Fachinhalte durch eine Orientierung am *erweiterten Fachwissen* verdeutlicht werden kann. Eine komplette didaktische Reduktion, welche die Verschränkung der Arbeitsbereiche (Fachliche Klärung, Erfassung der Schülerperspektive und didaktische Strukturierung) fordert (Kattmann 2007), würde zu Beginn des Bachelorstudiums eine Überforderung für die Studierenden darstellen. Der Fokus auf die Fachliche Klärung (Heidenreich und Gropengießer 2019) kann allerdings als Ansatzpunkt genutzt werden, um sich Teile der Didaktischen Rekonstruktion anzueignen. Ebenso verhält es sich hinsichtlich Shulmans *Model of Pedagogical Reasoning and Action* (s. Kapitel 4.1. - Shulman 1987). Im hiesigen Lehr-Lernarrangement wird sich vor allem auf die *comprehension* und auf Teile der *transformation* beschränkt.

Die Loslösung vom Lernenden ist von besonderer Bedeutung, um die Komplexität für Lehramtsstudierende der ersten Semester zu reduzieren. Da die Studierenden aufgrund des empfohlenen Studienverlaufsplans größtenteils noch keine fachdidaktischen Lerngelegenheiten im Studium wahrgenommen haben, können sie lediglich auf ein diffuses und intuitives fachdidaktisches Wissen zurückgreifen. Würden die vermeintlichen Perspektiven der zukünftigen Lernenden miteinbezogen werden, greifen Studierende aufgrund des geringen zeitlichen Abstandes häufig auf ihrer eigene Bildungsbiographie zurück. Dies führt dazu, dass bestimmte fachliche Sachverhalte als nicht relevant bestimmt werden, weil sie im eigenen Unterricht nicht auftauchten. Diese Einschätzung nahmen Studierende auch häufig vor, obwohl es in der Aufgabenstellung explizit *nicht* gefordert war.

Hinsichtlich der Facetten des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* konnten Hinweise hinsichtlich der Adaptation für diese Lehrveranstaltung oder zukünftige Lehrveranstaltungen dieser Art gewonnen werden (s. Abbildung 44).

Für die Ausgestaltung von Lerngelegenheiten ist festzuhalten, dass es Studierenden äußerst schwerfällt, Konzepte eigenständig zu identifizieren und zu benennen. Dies liegt zum größten Teil daran, dass nicht zwischen wissenschaftlichen Konzepten und Basiskonzepten unterschieden wird. In der Lehrveranstaltung wurde dies durch zahlreiche Good-Practice-Beispiele zur Identifikation und Benennung von Konzepten gelöst. Ebenfalls verhalfen die Ausführungen von Gropengießer et al. (2010) vielen Studierenden zu einem angemessenen Metaverständnis über Konzepte.

Die Erstellung einer Sachanalyse anhand geeigneter Leitfragen, die ein Metawissen fordern, ist geeignet, um *Wissen über Konzepte und ihre Anwendung im Fach* (Facette 1) zu fördern. Die Leitfragen spielten in allen Aufgabenstellungen eine tragende Rolle zur zielführenden Bearbeitung der Aufgabe und zur Explikation des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext*.

Dekonstruktionsaufgaben eignen sich besonders, um ein *Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren*, zu fördern. Anhand schulbezogener Materialien können Reduktionen identifiziert und ihre Folgen für das fachliche Weiterlernen benannt werden. Die Folgen von Reduktionen konnten von den untersuchten Studierenden nur unzureichend gut eingeschätzt werden. Es ist davon auszugehen, dass den Studierenden für diese Einschätzung sowohl breiteres Fachwissen und vermutlich auch curriculares Wissen (im Sinne von Loch 2015) fehlt. Zur Identifikation hat sich zusätzlich die Differenzierung von horizontaler und vertikaler (und sektoraler und struktureller) Reduktion (Grüner 1967) als zielführend herausgestellt. Durch die vorherige Beschreibung von Beispielen konnten sich die Studierenden bei der Bearbeitung der Lernaufgaben darauf beziehen.

Insgesamt zeigt sich jedoch für die Facette 3, dass die Beschreibungen in den hier zum Tragen kommenden Lernaufgaben nicht trennscharf sind und vermehrt im starken Zusammenhang standen. Vor allem die Identifikation von (sektoralen) Reduktionen und Benennung der Möglichkeiten des Aufbaus von Fachwissen gingen häufig einher. Da dies allerdings nicht für horizontale Reduktionen gilt, da bei diesen der Gültigkeitsumfang erhalten bleibt, ist es trotzdem sinnvoller zwei getrennte Leitfragen zu formulieren.

Auch die Beschreibung „*Trotz Reduktion kann auf tiefergehende Fragen eingegangen werden*“ aus Facette 3 erweist sich für diese Lehr-Lernarrangement als nicht trennscharf zu der Einschätzung der *Möglichkeiten des Aufbaus von Wissen* und zu Facette 1. Die Förderung dieses Wissens lässt sich vor allem über die Facette 1 operationalisieren, d.h. in dem vor allem die Ausbildung von konzeptuellem Wissen gefördert wird. Aus diesem Grund wird auf die Beschreibung in dem adaptierten Modell verzichtet.

Weiterhin hat sich gezeigt, dass eine der Beschreibung aus Facette 2 (*Wissen über Erkenntnisprozesse unter Einbezug von Theorie, Fachsprache, Erkenntnis- und Gültigkeitsprinzipien im Fach*) bezüglich der *sensiblen Verwendung von Fachsprache* auch in Facette 3 (*Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren*) aufgehen kann. Die Fachsprache kann als schwierigkeiterzeugendes Merkmal in fachlichen Texten gewertet werden. Dementsprechend ist der bewusste Verzicht auf Fachsprache auch eine Reduktion, die von den Studierenden entsprechend identifiziert werden kann. In Facette 2 kann (im Sinne des *syntactic knowledge* (Schwab 1964)) jedoch ein Metawissen über die Bedeutung von Fachsprache eingehen. Das heißt die Wahrnehmung der Fachsprache als Kommunikationsmittel, das ein Ergebnis der Sozialisation innerhalb einer bestimmten Disziplin ist. Die Fachsprache spiegelt demnach die Denkstrukturen wider, die durch



Methoden des Faches bestimmt sind (Buhlmann und Fearn 2000). Dementsprechend sollte die zweite und dritte Beschreibung der Facette 2 zusammengefasst werden in *Wissen über die Disziplin, ihre Erkenntnismethoden und Fachsprache*.

Es kann festgestellt werden, dass sich das hier beforschte Lehr-Lernarrangement nicht eignet, um Wissen innerhalb der Facette 2 *Wissen über Erkenntnisprozesse unter Einbezug von Theorie, Fachsprache, Erkenntnis- und Gültigkeitsprinzipien im Fach* zu fördern. Das liegt an der anderen Struktur des Wissens als *syntactic knowledge*. Sowohl die Facette 1 (*Wissen über Konzepte und ihre Anwendung im Fach*) als auch die Facette 3 (*Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren*) fordern die Anwendung von *substantive knowledge*. Konkrete fachliche Inhalte in Form von Konzepten, Prinzipien und Fakten müssen verstanden und miteinander in Verbindung gesetzt werden können (Schwab 1964).

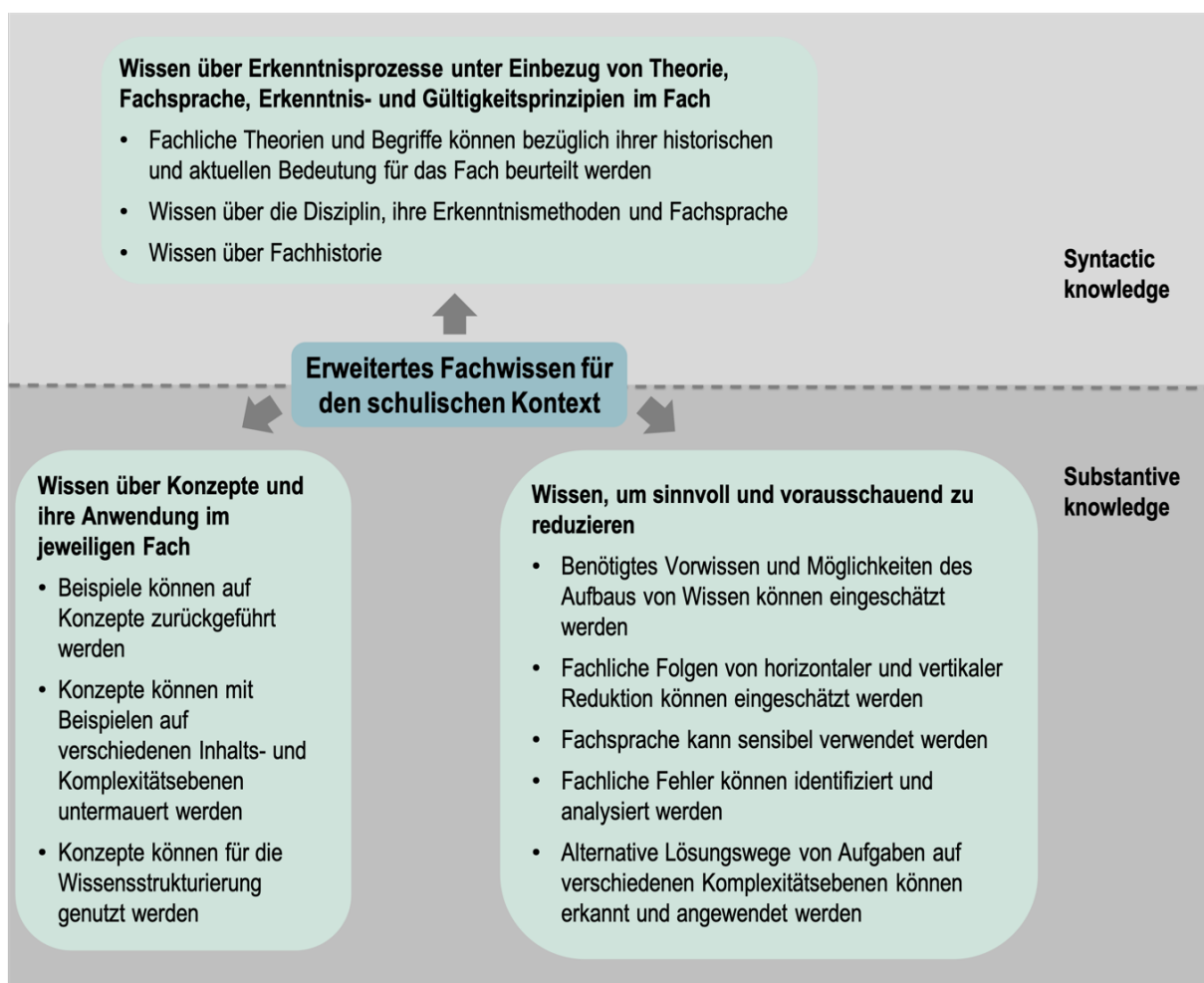


Abbildung 44 Adaptiertes Modell des erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext im Rahmen dieser Studie

Insgesamt scheint das Modell des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* durchaus geeignet zu sein, um anhand der Facetten und deren Beschreibungen Lerngelegenheiten oder Gestaltungsprinzipien für diese zu konzipieren. Dies kann durch diese, aber auch andere Arbeiten aufgezeigt werden (Glowinski et al. 2018b; Massolt und Borowski 2018; Hermanns 2019; Reitz-Koncebovski et al. 2020).

## 19 Methodendiskussion

### 19.1 Limitation der Arbeit

Die gesamte Studie ist einigen Limitationen unterlegen, die in der Anlage des Studiendesigns und der Methodik zu begründen sind.

Wie bei qualitativen Studien mit geringer Fallzahl üblich, ist auch in dieser Arbeit die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse eingeschränkt. Die Arbeit zielt explizit *nicht* auf eine Verallgemeinerung oder quantifizierbare Vergleichbarkeit der Ergebnisse ab. Der Beitrag zur Theoriebildung kann jedoch lokal und gegenstandsbezogen vorgenommen werden (Prediger 2015). Im Ergebnis kann hier von einer lokalen und gegenstandsbezogenen Weiterentwicklung des Modells des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* und des lehr-lerntheoretischen Orientierungsrahmens (u.a. Theorie des bedeutungsvollen Lernens und Conceptual Change-Theorie) ausgegangen werden. Das Modell und die Theorien wurden durch ausdifferenzierte Pfade zur möglichen Konzeptentwicklung und durch detaillierte Beschreibungen zur möglichen Anwendung von Wissensbeständen bereichert.

Inwiefern auch für diese Studie die Gütekriterien der qualitativen Sozialforschung nach Steinke (2000) zutreffen, wird in der folgenden Tabelle 42 aufgezeigt.

Tabelle 42 Gütekriterien nach Steinke (2000) und ihrer Berücksichtigung in der vorliegenden Arbeit

Gütekriterium und Kurzbeschreibung	Berücksichtigung in dieser Studie
<b>Intersubjektive Nachvollziehbarkeit</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>transparente Darstellung der Forschung und der Ergebnisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Replikation aufgrund der begrenzten Standardisierbarkeit der lernprozessfokussierenden Erhebungssituationen nicht möglich, deshalb wurde der Forschungsprozess so transparent wie möglich dokumentiert.</li> <li>Die Aufbereitung von Daten erfolgte gewissenhaft und anhand von Transkriptionsregeln.</li> <li>Bei der Auswertung der Daten wurde regelgeleitet, anhand von Codierleitfäden vorgegangen.</li> <li>Ein Sechstel des Materials wurde zweiticodiert, wobei die Interraterreliabilität als gut bis sehr gut zu bewerten ist.</li> <li>Die vorgenommene Codierung wurde kommunikativ validiert</li> </ul>
<b>Indikation des Forschungsprozess</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gegenstandsangemessenheit des Forschungsprozesses (Theoriebezug und Angemessenheit der Methoden hinsichtlich des Forschungsziels)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Auswahl eines qualitativen Forschungsdesigns ist vor allem hinsichtlich theorie(weiter)entwickelnder Forschungsziele angemessen.</li> <li>Die Erhebungs- und Auswertungsmethoden wurden dem Forschungsgegenstand angemessen ausgewählt und eingesetzt.</li> <li>Die Transkriptionsregeln wurden angewendet und eingehalten.</li> <li>Die Stichprobenauswahl für die Einzelfallanalyse erfolgte nach einer <i>theoretical sampling</i>.</li> </ul>
<b>Empirische Verankerung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Daten werden theoriebasiert ausgewertet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Für die Qualitative Inhaltsanalyse wurden Kategoriensysteme zunächst deduktiv entwickelt und durch induktiv gewonnen Kategorien ergänzt.</li> <li>Es wurden für die Interpretation hinreichende Textbelege geliefert.</li> </ul>
<b>Limitation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Limitation der Arbeit wurde diskutiert.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grenzen werden aufgezeigt, um unzulässige Verallgemeinerungen auszuschließen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Einzelfälle wurden kontrastierend (viel Vorwissen, wenig Vorwissen) ausgewählt.</li> </ul>
<p><b>Kohärenz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Forschungsprozess und entwickelte Theorie sind konsistent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Lerngegenstände und das Lehr-Lernarrangement weisen eine gute Passung auf.</li> <li>• Ungelöste Widersprüche wurden offengelegt.</li> </ul>
<p><b>Kriterium Relevanz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pragmatischer Nutzen der Theorie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Entwicklungsergebnisse (Materialien und Erkenntnisse zum Lehr-Lernarrangement sind auf andere additive Fachliche Lehrveranstaltungen im Lehramtsstudium übertragbar.</li> <li>• Die universitäre Lehrpraxis wurde insofern berücksichtigt, dass auch Einzelelemente der Lehr-Lernarrangements entnehmbar sind.</li> <li>• Die gewonnen Erkenntnisse hinsichtlich der Studierendenkonzepte können in der fachwissenschaftlichen Lehre berücksichtigt werden.</li> <li>• Das Konstrukt des <i>erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext</i> wurde um Anwendungsbeispiele bereichert.</li> </ul>
<p><b>Kriterium reflektierte Subjektivität</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Reflexion der Rolle als forschende Person</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Doppelrolle der Autorin als Forscherin und Seminarleitung wurde methodisch reflektiert</li> </ul>

Eine Limitation, die im Studiendesign begründet liegt, betrifft die Abfrage des Vorwissens im Prätest. Diese wurde vorgenommen, ohne dass sich die Studierenden darauf vorbereiten konnten. Sie hatten zuvor keine Gelegenheit ihr Vorwissen zu reaktivieren. Dieses ad hoc abrufbare Wissen spiegelt nicht in jedem Fall den tatsächlichen Wissensstand wider. Die Studierenden gaben auch nach den folgenden Lerngelegenheiten an, ihr Wissen größtenteils „nur aufgefrischt“ zu haben. Es ist also durchaus möglich, dass auch zum Zeitpunkt des Prätests ein fachlich angemesseneres Fachwissen vorlag. Dies stellte sich allerdings derart diffus und unzusammenhängend dar, dass es nicht hinreichend verschriftlicht werden konnte. Dies kann durch die Theorien des trägen Wissens und des impliziten Wissens (s. Kapitel 4.2.) erklärt werden. Innerhalb der Arbeit wurde jedoch stets deutlich gemacht, dass es sich um *abrufbares* Vorwissen zu diesem Zeitpunkt der Studie handelte. Ein ‚sich-nicht-äußern‘ im Prätest kann darüber hinaus auch mit einem Unverständnis bezüglich der Fragestellung zu tun haben und nicht zwangsläufig mit unangemessenen Vorstellungen. Dem wurde entgegengewirkt, indem die Studierenden die Gelegenheit hatten, ihr Unverständnis dadurch auszudrücken, dass sie Teile oder die gesamte Fragestellung markierten.

Die direkte Vergleichbarkeit der Ergebnisse des Prä- und Posttests ist durch die jeweils unterschiedlichen Erhebungsmodi eingeschränkt. Der Prätest wurde als Paper-Pencil-Test und der Posttest als Laut-Denken-Studie durchgeführt. Es kann demnach sein, dass die deutlich differenzierteren und fachlich angemesseneren Antworten durch die Gelegenheit umfangreichere Verbalisierung vorzunehmen, zustande kamen. Im Zuge der qualitativen Datenerhebung konnte jedoch festgestellt werden, dass (wenn sich zum Zeitpunkt des Posttests in fachlich angemessener Form geäußert wurde) mit anderen fachlichen Inhalten argumentiert wurde als im Prätest. Daher ist nicht davon auszugehen, dass die präinstruktionalen die gleichen, wie die postinstruktionalen Vorstellungen sind.

In die kooperativen Design-Experimente zur Erstellung der Concept Map oder zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten wurde seitens der Seminarleitung nicht inhaltlich

eingegriffen. Es fehlte dadurch die Nachfragemöglichkeit hinsichtlich des tatsächlichen Verständnisses bezüglich fachlicher Sachverhalte. Teilweise kann demnach nicht mit Gewissheit bestimmt werden, ob es sich bei fachlichen Unsicherheiten und fachlich unangemessenen Aussagen um begriffliche Probleme oder um tatsächlich konzeptuelle Verständnisprobleme handelt (s. Kapitel 14.3.2. - Fall Christina Membranfluss – Membranfluidität).

Die Richtung der fachlichen Diskussionen sind einerseits durch die zu Grunde liegenden Aufgabenstellungen, aber andererseits auch im starken Maße durch die Dynamik innerhalb der Kleingruppen bestimmt. Es kann dadurch nur wenig Kontrolle darüber geben, welche Konzepte explizit zur Sprache gebracht werden. Aus diesem Grund lässt sich die Konzeptentwicklung, dargestellt durch die Lernpfade, nur eingeschränkt vergleichen. Durch die Festlegung auf einheitliches Referenzmaterial (z.B. hinzugegebene Begriffe aus dem universitären Wissen für die Erstellung der Concept Map oder festgelegte Schulbuchtexte) konnte dem (bedingt) entgegengewirkt werden.

Eine weitere Limitation betrifft die Stichprobe. Es handelte sich hierbei im Bachelorstudierende des Lehramts Biologie, die sich mehrheitlich im vierten bis fünften Fachsemester befanden. Die gewonnenen Ergebnisse und Interpretationen beziehen sich demnach vor allem auf diese Studienphase und können nicht auf alle Lehramtsstudierenden der Biologie übertragen werden. Im weiteren Studienverlauf folgen zahlreiche fachliche und fachdidaktische Lerngelegenheiten in Theorie und Praxis, die zu einer Veränderung der fachlichen Vorstellungen führen können. Wenn davon ausgegangen wird, dass sich im Laufe des Studiums ein breiteres universitäres Fachwissen angeeignet wird, würden zu einem späteren Zeitpunkt im Studium auch mehr Möglichkeiten zur Vernetzung der Wissensbestände auftauchen (s. Kapitel 4.2. – Vergleich des Wissens von Experten und Novizen).

## 19.2 Diskussion zur Methodologie

Insgesamt kann festgestellt werden, dass sich Design Research und genauer das Format der fachdidaktischen Entwicklungsforschung (Dortmunder Modell) ausgesprochen gut eignet, um Lehr-Lernarrangements im lehramtsbezogenen Hochschulkontext zu beforschen und lokale Theorien zur Lehrkräftebildung (weiter) zu entwickeln. Die im Dortmunder Modell aufgeführten Arbeitsbereiche (s. Kapitel 6) lassen sich vergleichsweise problemlos auf Professionalisierungskontexte übertragen, wie es auch Prediger (2019) für das Feld der Lehrkräftefortbildungen herausstellt. Für die erste Phase der Lehrkräftebildung und insbesondere für die Vermittlung von fachwissenschaftlichen Themen in der Studieneingangsphase kann sich sogar noch stärker am Dortmunder Modell welches ursprünglich für die Beforschung und Weiterentwicklung unterrichtlicher Praxis entwickelt wurde (Prediger et al. 2012), orientiert werden.

In diesem Fall kam die Besonderheit hinzu, dass es sich um eine additive Lehrveranstaltung handelte und der Zugang zum fachlichen Gegenstand seitens der Studierenden bereits durch unterschiedliche Lerngelegenheiten (einerseits aus Schule, andererseits aus der Universität) hergestellt wurde. Diesen fachlichen Gegenstand galt es zunächst zu spezifizieren. Im Gegensatz zur Spezifizierung eines Gegenstands für den Schulunterricht wurden für dieses hochschulische Lehr-Lernarrangement die schulischen und die universitären Anteile des fachlichen Gegenstands bestimmt. Weiterhin kann aufgrund der Studienlage auf deutlich weniger fachliche Studierendenvorstellungen als auf

Schülervorstellungen aus der Literatur zurückgegriffen werden. Da die Vorstellungen demnach erst im Laufe des Zyklus 1 (innerhalb der Arbeitsschritte 3 und 4) erhoben und interpretativ erschlossen werden konnten, wurden sie auch erst im Zuge der Iteration ab Zyklus 2 einbezogen. Insgesamt wurde das Dortmunder Modell im Zuge dieser Studie, für diesen Lerngegenstand und für diese Lernziele entsprechend der Abbildung 4 adaptiert und ausdifferenziert.

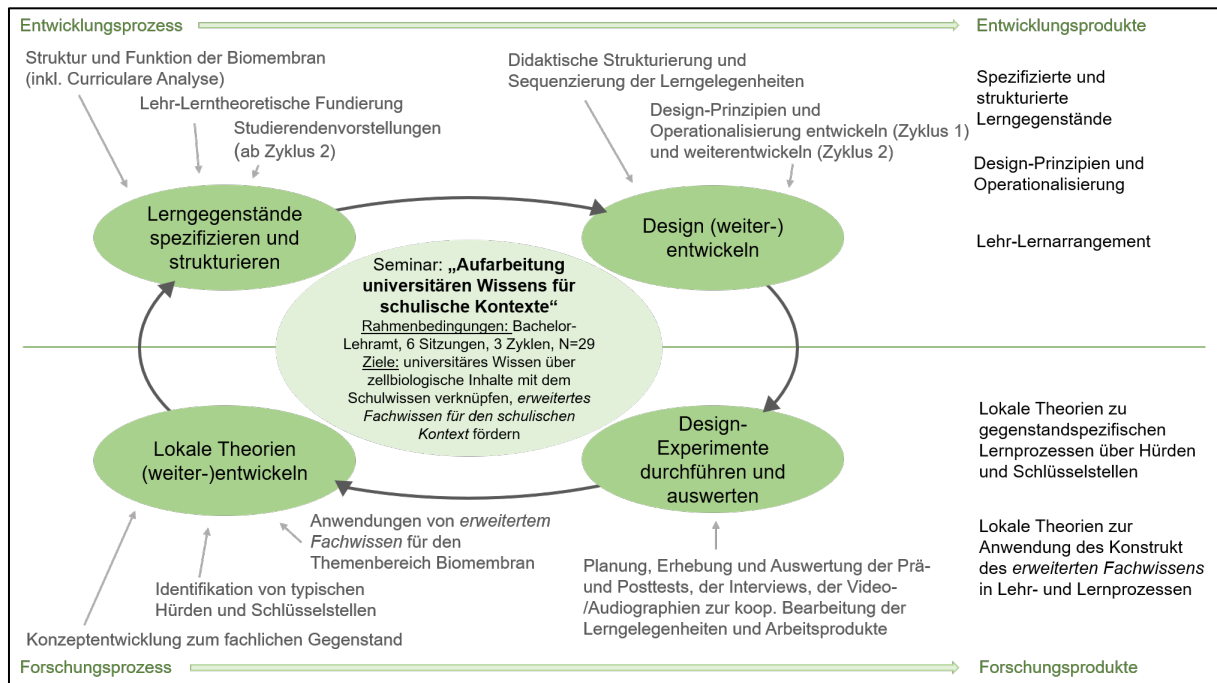


Abbildung 45 Adaptiertes Dortmunder Modell der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Rahmen dieser Studie (Darstellung in Anlehnung an Prediger et al. 2012)

Innerhalb dieser Studie hat sich vor allem die Durchführung eines Pilotzyklus als sehr hilfreich erwiesen. Auch Prediger et al. (2012) plädieren für einen explorativen Zugang, indem innerhalb des ersten Zyklus vorerst überprüft wird, inwieweit die vorgenommene Strukturierung überhaupt tragfähig ist oder ob die entwickelten Aufgabenstellungen von den Lernenden verstanden werden. Die im Pilotzyklus dieser Studie erhobenen Daten (z.B. Feldnotizen der Seminarleitung) erfüllten nicht die Standards einer methodisch kontrollierten Theoriebildung und gingen daher nicht in diese Arbeit ein. Nach dem Pilotzyklus wurde sich auf eine Sequenzierung der Lerngelegenheiten festgelegt. Das fachliche Themengebiet wurde, statt allgemeinen Inhalten zur Zellbiologie, auf die Struktur und Funktion der Biomembran beschränkt.

Durch die Durchführung des Pilotzyklus (nachdem die größten strukturellen Änderungen im Design vorgenommen wurden) war die Überzeugungskraft des Designs nach dem ersten Zyklus recht groß. Vor allem dadurch, dass die Bearbeitung der Lernaufgaben wie intendiert erfolgte und die Lernziele weitestgehend erreicht wurden, schienen fundamentale Veränderungen im Design nicht zielführend. Prinzipiell geht es innerhalb der Iteration stets um eine Verbesserung des Designs hinsichtlich der intendierten Lernziele. Wenn die Designalternativen (in der Wahrnehmung des Forschenden) diese intendierten Lernziele nicht vielversprechender herbeiführen, dann werden sie vermutlich nicht durchgeführt. In Anbetracht der mangelnden zeitlichen und personellen Ressourcen wird auch verhindert, dass hinsichtlich des Designs weniger vielversprechende Alternativen „ausprobiert“ werden.

Auch innerhalb der Iteration dieser Studie wurden keine fundamentalen Änderungen (beispielsweise in der Sequenzierung der Lernaufgaben oder der fachlichen Themenbereiche) vorgenommen. Dennoch wurden (wie in den Kapiteln 14.1.3.; 14.2.3.; 14.3.3. und 15 beschrieben) zahlreiche Iterationsschritte vorgenommen. Das Design der Lehrveranstaltung wurde in jedem Zyklus hinsichtlich der Lernvoraussetzungen spezifiziert. Dies hatte allerdings auch zur Folge, dass jeder Zyklus ein wenig komplexitätsreduzierter und instruktionaler wurde. Ähnliches lässt sich auch bei Wolf (2014) feststellen. Instruktionaler meint in diesem Sinne, dass die Aufgabenstellungen genauer und kleinteiliger beschreiben, wie die Lernenden bei der Aufgabenbearbeitung vorgehen sollten (s. beispielsweise Kapitel 10.2. – Aufgabenstellung zur Erstellung der Concept Map). Zeichnen sich die anfänglichen Aufgabenstellungen noch durch eine große Offenheit aus, werden in den folgenden Zyklen die zu fokussierenden Leitfragen stärker eingegrenzt, damit sich die Lernenden tatsächlich mit dem intendierten Lerninhalt auseinandersetzen (s. beispielsweise Kapitel 15 – Vorgenommene Iterationen zum Designprinzip Dekonstruktion und Rekonstruktion). Auch die fachlichen Hilfen wurden in ihrem Umfang reduziert und vorstrukturiert. Allerdings kann auch für moderat konstruktivistisch angelegte Lerngelegenheiten davon ausgegangen werden, dass die Konstruktion eines umfangreich verknüpften Wissensnetzes nur dann erfolgt, wenn eine ausreichende Wissensbasis zur Verfügung steht (Reinmann und Mandl 2006). Diese gilt es, durch instruktionale Anleitung und Unterstützung bestmöglich zu fördern.

Eine bedeutende und zu berücksichtigende Limitation ist die, dass die Seminarleitung gleichzeitig die forschende Person war. Design Research-Studien und Studien im Format der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung sind häufig derartig aufgebaut, dass die forschende Person (z.T. gemeinsam mit einer Lehrkraft) ein Lehr-Lernarrangement konzipiert. Die Durchführung der Design-Experimente in der Praxis obliegt der Lehrkraft. Die forschende Person wertet daraufhin die Design-Experimente aus und verändert das Design iterativ. Dies hat den Vorteil, dass die konkrete Durchführung der Design-Experimente und das Gelingen bestimmter Strukturierungen im Lernprozess stärker von der forschenden Person abgegrenzt ist. Andererseits können die Ergebnisse in diesem Fall auch schlechter von der Person der Lehrkraft abgegrenzt werden. Insgesamt muss festgehalten werden, dass die Erforschung authentischer Lehr-Lernprozesse (ob im Unterricht oder im Hochschulkontext) nie unabhängig von den Rahmenbedingungen stattfinden kann. Auch in mehreren anderen Design Research-Studien ist die forschende und die unterrichtende Person die gleiche (z.B. Wolf 2014; Roßbegalle 2015; Hiller 2017). Dennoch wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen, dem allzu großen Einfluss der forschenden Person auf die Lernprozesse entgegenzuwirken. Das gesamte Lehr-Lernarrangement ist sehr studierendenzentriert ausgelegt. Die lehrendenzentrierten Phasen wurden gering gehalten. Der gegebene Input belief sich größtenteils auf die Erläuterung der Aufgabenstellung und die Erläuterung von Good-Practice-Beispielen. Des Weiteren war die dezidierte Ausarbeitung der Materialien (z.B. Arbeitsblätter, fachliche Hilfen, Folien) unerlässlich. Darüber hinaus wurde das methodische Vorgehen zur Auswertung der Design-Experimente transparent dargestellt (s. Kapitel 12).

## 20 Fazit und Ausblick

Im Rahmen der Studieneingangsphase sind viele Studierenden im Lehramt unzufrieden hinsichtlich des wahrgenommenen Professionsbezugs. Besonders zu Studienbeginn dominieren innerhalb der Lehramtsstudiengänge für die Sekundarstufe I und II fachwissenschaftliche Lehrveranstaltungen. Es gibt mehrere Initiativen, u.a. der BMBF-geförderten Qualitätsoffensive Lehrerbildung, die sich dieser Herausforderung annehmen. Abschlussbezogene fachwissenschaftliche Veranstaltungen, in denen Studierende des Lehramts den Berufsbezug des Fachwissens explizit reflektieren können (z.B. Bauer und Partheil 2009; Reitz-Koncebovski et al. 2018) haben sich hier häufig als hilfreich erwiesen. Leufer und Prediger (2006) plädieren dafür, auch in gemeinsamen Lehrveranstaltungen mit Fachstudierenden fachinhaltliche Kompetenzen als Fundierung für didaktisches unterrichtliches Handeln immer wieder exemplarisch anzustoßen. Durch die beschränkten personellen, räumlichen und zeitlichen Ressourcen innerhalb der Hochschullehre ist dies jedoch nicht immer möglich. Dem kann durch mehrere Maßnahmen entgegengewirkt werden. Z.B. durch additive fachwissenschaftlich orientierte Veranstaltungen (die jedoch von der Fachdidaktik angeboten werden) zur berufsfeldbezogenen Aufarbeitung des in den Vorlesungen vermittelten Fachwissens. Eine mögliche Herangehensweise für diesen Ansatz wurde in dieser Arbeit beschrieben. Auch andere Projekte setzten sich mit diesem Zugang auseinander (z.B. Grospietsch und Mayer 2018; Schumacher und Zabel 2017). Ebenso stellen parallel zur Vorlesung stattfindende lehramtsbezogene Übungen (Massolt und Borowski 2018) oder Tutorien ein vielversprechendes Modell dar.

In dieser Arbeit konnte ein Designrahmen für die Förderung von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext* im Hinblick auf den Gegenstand „Struktur und Funktion der Biomembran“ entwickelt werden. Durch die Darstellung der Entwicklung fachlicher Studierendenkonzepte konnte eine Reihe an möglichen Wirkungen der Lehrveranstaltung dezidiert aufgezeigt werden.

Ein wichtiger Beitrag dieser Arbeit ist die Gewinnung fachlicher Studierendenkonzepte. Es hat sich herausgestellt, dass diese Studierendenkonzepte sich z.T. nicht oder nur teilweise mit wissenschaftlichen Konzepten decken. Diese gewonnenen Studierendenkonzepte können in zukünftigen fachlichen Lehrveranstaltungen zum Thema Struktur und Funktion der Biomembran mit einbezogen und genutzt werden, um einen Conceptual Change anzubahnen.

Für die weitere Forschung ist es interessant, inwiefern sich dieser Designrahmen auf andere Themen der Biologie oder sogar auf andere Fächer übertragen lässt. Zumindest für andere Themen der Biologie, die sowohl einen hohen Schulbezug aufweisen als auch in der Universität eine wichtige Rolle spielen (z.B. Populationsgenetik, Neurobiologie, Ökologie, etc.), ist dies durchaus anzunehmen.

Für die Förderung von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext* hat sich herausgestellt, dass diese stets gegenstandsbezogen erfolgen muss. Die Verknüpfung von schulischen und universitären Inhalten bildet dafür die Basis. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass sich für diese Verknüpfung sowohl das Schulwissen als auch das akademische Wissen als Ausgangspunkt eignet. Vor allem die Dekonstruktion schulischer Materialien wurde von den Studierenden als sehr authentisch und hilfreich wahrgenommen. Dementsprechend wäre ein vermehrter Einsatz und die weitere Entwicklung von fachlichen Lerngelegenheiten für Lehramtsstudierende vom Schulwissen ausgehend wünschenswert.

Ein wichtiges übergreifendes Ergebnis dieser Arbeit für derartige Veranstaltungen ist, dass die bildungsbiografischen Fachperspektiven von Studierenden Berücksichtigung finden und im Lehrveranstaltungsdesign aktiv mit einbezogen werden sollten – Stets im Bewusstsein dessen, dass darüber Vorstellungen über die Bedeutung von Inhalten für die Ausübung des späteren Berufs rühren.

Zur Generierung deskriptiver Theorieelemente erweist sich die Validierung des Modells des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* als notwendig. Es ist empirisch nicht geklärt, inwiefern sich das erweiterte Fachwissen (und insbesondere die Facette *Wissen, um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren*) von dem fachdidaktischen Wissen trennen lässt. Es besteht weiterhin ein Forschungsbedarf bezüglich des Einflusses von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext* auf die Planung und Durchführung von Unterricht und auf den Lernerfolg und die Motivation der Schüler\*innen.

Das Forschungsformat der fachdidaktischen Entwicklungsforschung hat sich als sehr gut geeignet zur Beforschung von Lehrveranstaltungsdesigns dieser Art herausgestellt. Es eignen sich jedoch nicht alle universitären Lehrveranstaltungssettings für die Beforschung mit dem Dortmunder Modell. Der Einsatz der fachdidaktischen Entwicklungsforschung geht weit über die Erhebung von prä- und postinstruktionalen Zuständen hinaus. Besonders sollte dieses Forschungsformat bei der Beforschung von interaktiven Settings in denen sich tatsächliche Lernprozesse beobachten lassen, zum Einsatz kommen.

Um den Professionsbezug der fachwissenschaftlichen Anteile im Lehramtsstudium zu verbessern, ist der weitere Einbezug des *erweiterten Fachwissens für den schulischen Kontext* in die fachwissenschaftlichen Studienanteile überaus wünschenswert. Dafür muss das Konstrukt weiterhin fach- und gegenstandsspezifisch ausdifferenziert werden.

Schlussendlich hat sich gezeigt, dass eine explizit geforderte Verknüpfung von Schulwissen und universitärem Wissen einen berufsspezifischen Zugang zum Fachwissen für angehende Lehrkräfte bieten kann, wie folgendes abschließendes Zitat von Franziska zeigt:

*„Überhaupt mal einen Sinn zu sehen oder wie man Sachen überhaupt verknüpft. Ich finde manchmal ist es in den Biovorlesungen „heute das Thema und morgen das Thema“ [...]. Manchmal fällt es schwer die Verknüpfung zu finden. Ich finde das war im Seminar echt gut.“*

(Transkript\_Laut\_Denken\_Franziska: 15 - 15)



## 21 Literaturverzeichnis

- Abd-El-Khalick, F.; Lederman, N. G. (2000): Improving science teachers' conceptions of nature of science. A critical review of the literature. In: *International Journal of Science Education* 22 (7), S. 665–701. DOI: 10.1080/09500690050044044.
- Abd-El-Khalick, F. (2005): Developing deeper understandings of nature of science. The impact of a philosophy of science course on preservice science teachers' views and instructional planning. In: *International Journal of Science Education* 27 (1), S. 15–42. DOI: 10.1080/09500690410001673810.
- abiweb.de (Hg.): Biomembran und Kompartimentierung. Online verfügbar unter <https://www.abiweb.de/biologie-zytologie/die-zelle-baustein-des-lebens/biomembran-und-kompartimentierung.html>, zuletzt geprüft am 20.11.2020.
- Ableitinger, C.; Kramer, J.; Prediger, S. (Hg.) (2013): Zur doppelten Diskontinuität in der Gymnasiallehrerbildung. Ansätze zu Verknüpfungen der fachinhaltlichen Ausbildung mit schulischen Vorerfahrungen und Erfordernissen. Wiesbaden: Springer Spektrum (SpringerLink : Bücher).
- AG Studienqualität (2011): Allgemeiner Bericht mit fachspezifischer Aufarbeitung. Onlinebefragung Professionsorientierung/ Berufsqualifizierung im Lehramtsstudium an der Universität Potsdam. Interner Bericht. Universität Potsdam. Online verfügbar unter [https://pep.uni-potsdam.de/media/reports/up\\_zfl\\_umfrage-professionsorientierung-lehramt\\_2011.pdf](https://pep.uni-potsdam.de/media/reports/up_zfl_umfrage-professionsorientierung-lehramt_2011.pdf), zuletzt geprüft am 11.01.2016.
- Alberts, B.; Graw, J. (Hg.) (2012): Lehrbuch der molekularen Zellbiologie. 4. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH (Wiley VCH Lehrbuchkollektion 1).
- Alberts, B.; Schäfer, U.; Häcker, B. (Hg.) (2011): Molekularbiologie der Zelle. 5. Aufl. Weinheim: Wiley-VCH.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (2011): Vision and Change in Undergraduate Biology Education: A Call to Action. Washington, DC. Online verfügbar unter <https://live-visionandchange.pantheonsite.io/wp-content/uploads/2011/03/Revised-Vision-and-Change-Final-Report.pdf>, zuletzt geprüft am 07.06.2019.
- Anderson, L. W.; Krathwohl, D. R.; Airasian, P. W. (Hg.) (2001): A taxonomy for learning, teaching, and assessing. A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Complete ed. New York: Longman.
- Ausubel, D. P. (1963): The psychology of meaningful verbal learning. An introduction to school learning. New York, N.Y., [etc.]: Grune & Stratton.
- Axelrod, D.; Koppel, D. E.; Schlessinger, J.; Elson, E.; Webb, W. W. (1976): Mobility measurement by analysis of fluorescence photobleaching recovery kinetics. In: *Biophysical Journal* 16 (9), S. 1055–1069. DOI: 10.1016/S0006-3495(76)85755-4.
- Bach, A. (2018): Zellen sind kleine Fabriken. Online verfügbar unter <https://www.br.de/alphalernen/faecher/biologie/biologie-heute-zellen-100.html>, zuletzt geprüft am 20.11.2020.
- Ball, D. L.; Bass, H. (2003): Towards a practice-based theory of mathematical knowledge for teaching. In: E. Simmt und B. Davis (Hg.): Proceedings of the 2002 Annual Meeting of the Canadian Mathematics Education Study Group. Edmonton: CMESG/GCEDM, S. 3–14.
- Ball, D. L.; Thames, M. H.; Phelps, G. (2008): Content Knowledge for Teaching. What Makes It Special? In: *Journal of Teacher Education* 59 (5), S. 389–407. DOI: 10.1177/0022487108324554.
- Bastiani, M.; Parton, R. G. (2010): Caveolae at a glance. In: *Journal of Cell Science* 123 (22), S. 3831–3836. DOI: 10.1242/jcs.070102.

- Bauer, T.; Partheil, U. (2009): Schnittstellenmodule in der Lehramtsausbildung im Fach Mathematik. In: *Math. Semesterber.* 56, S. 85–103.
- Baumert, J.; Kunter, M. (2006): Stichwort: Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft* 9 (4), S. 469–520.
- Baumert, J.; Kunter, M. (2011): Das mathematikspezifische Wissen von Lehrkräften, kognitive Aktivierung im Unterricht und Lernfortschritte von Schülerinnen und Schülern. In: M. Kunter, J. Baumert, W. Blum und M. Neubrand (Hg.): *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster: Waxmann, S. 163–192.
- Bayrhuber, H.; Hauber, W.; Linder, H. (Hg.) (2012): *Linder-Biologie. Lehrbuch für die Oberstufe*. 23., neu bearbeitete Auflage, Druck A 3. Braunschweig: Schroedel.
- Begle, E. G. (1972): Teacher Knowledge and Student Achievement in Algebra. In: *School Mathematics Study Group Reports Number 9* 9, S. 1–109.
- Berg, J. M.; Tymoczko, J. L.; Gatto jr., G. J.; Stryer, L. (2018): *Stryer Biochemie*. Unter Mitarbeit von A. Held, M. Held, B. Jarosch, G. Maxam und L. Seidler. 8. Auflage. Berlin: Springer Spektrum (Lehrbuch).
- Berliner, D. C. (2001): Learning about and learning from expert teachers. In: *International Journal of Educational Research* 35 (5), S. 463–482. DOI: 10.1016/S0883-0355(02)00004-6.
- Beyer, I. (2013): *Natura. Biologie für Gymnasien*. [Neubearb.], 1. Aufl. [Nachdr.]. Stuttgart: Klett.
- Billmann-Mehecha, E.; Gebhard, U. (2014): Die Methode der Gruppendiskussion zur Erfassung von Schülerperspektiven. In: D. Krüger, I. Parchmann und H. Schecker (Hg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 147–158.
- Bleichroth, W. (1991): Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. In: *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik* 6, S. 4–11.
- BLK (Hg.) (1997): Gutachten zur Vorbereitung des Programms "Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts" (Heft 60). Bonn: BLK Geschäftsstelle.
- Blömeke, S. (2009): Voraussetzungen bei der Lehrperson. In: K.-H. Arnold, U. Sandfuchs und J. Wiechmann (Hg.): *Handbuch Unterricht*. 2., aktualisierte Aufl. Bad Heilbrunn: Klinkhardt (UTB Schulpädagogik/Pädagogik, 8423), S. 122–126.
- Blömeke, S.; Gustafsson, J.-E.; Shavelson, R. J. (2015): Beyond Dichotomies. Competence Viewed as a Continuum. In: *Zeitschrift für Psychologie* 223 (1), S. 3–13. DOI: 10.1027/2151-2604/a000194.
- Bloom, B. S. (Hg.) (1956): *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Handbook 1, Cognitive Domain*. New York: David McKay.
- Bohnsack, R. (2009): *Qualitative Bild- und Videointerpretation. Die dokumentarische Methode*. Opladen, Farmington Hills: Verlag Barbara Budrich (UTB Erziehungswissenschaft, Sozialwissenschaften, 8407).
- Born, B. (2007): *Lernen mit Alltagsphantasien. Zur expliziten Reflexion impliziter Vorstellungen im Biologieunterricht*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
- Brand, T. (2010): *Deutsch unterrichten. Einführung in die Planung, Durchführung und Auswertung in den Sekundarstufen*. 1. Aufl. Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer.
- Bromme, R. (1992): *Der Lehrer als Experte. Zur Psychologie des professionellen Wissens*. Bern: Verlag Hans Huber (Standardwerke aus Psychologie und Pädagogik, Reprints, Bd. 7).
- Bromme, R. (1997): Kompetenzen, Funktionen und unterrichtliches Handeln des Lehrers. In: Franz E. Weinert (Hg.): *Enzyklopädie der Psychologie*. Göttingen: Hogrefe (Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D Praxisgebiete ; Ser. 1 Pädagogische Psychologie ; Bd. 3), S. 177–212.

- Bruhn, J.; Fischer, F.; Gräsel, C.; Mandl, H. (2000): Kooperatives Lernen mit Mapping-Techniken. In: H. Mandl und F. Fischer (Hg.): Wissen sichtbar machen. Wissensmanagement mit Mapping-Techniken. Göttingen: Hogrefe Verlag für Psychologie, S. 119–132.
- Brumby, M. (1979): Problems in learning the concept of natural selection. In: *Journal of Biological Education* 13 (2), S. 119–122. DOI: 10.1080/00219266.1979.9654240.
- Bruner, J. (1960): *The Process of Education*. Cambridge: Harvard University Press.
- Buhlmann, R.; Fearn, A. (2000): *Handbuch des Fachsprachenunterrichts*. Unter besonderer Berücksichtigung naturwissenschaftlich-technischer Fachsprachen. 6., überarb. und erw. Aufl. Tübingen: G. Narr (Narr studienbücher).
- Byrnes, J. P.; Wasik, B. A. (1991): Role of conceptual knowledge in mathematical procedural learning. In: *Developmental Psychology* 27 (5), S. 777–786. DOI: 10.1037/0012-1649.27.5.777.
- Cacioppo, J. T.; Petty, R. E. (1989): Effects of message repetition on argument processing, recall, and persuasion. In: *Basic and Applied Social Psychology* 10 (1), S. 3–12. DOI: 10.1207/s15324834basp1001\_2.
- Campbell, N. A.; Reece, J. B. (2011): *Biologie - Gymnasiale Oberstufe*. München: Pearson (Always learning).
- Campbell, N. A.; Reece, J. B.; Urry, L. A.; Cain, M. L.; Wasserman, S. A.; Minorsky, P. V.; Jackson, R. B. (2016): *Campbell Biologie*. 10., aktualisierte Auflage. Hg. v. Jürgen J. Heinisch und Achim Paululat. Hallbergmoos/Germany: Pearson (bio).
- Cañas, A. J.; Novak, J. D. (2006): Re-examining the foundations for effective use of conceptmaps. In: *Proc. of the Second Int. Conference on Concept Mapping*.
- Centrum für Hochschulentwicklung gGmbH (2016): *Monitor Lehrerbildung*. Online verfügbar unter <http://www.monitor-lehrerbildung.de/web/thema/studieninhalte>, zuletzt geprüft am 26.08.2016.
- Chase, W. G.; Simon, H. A. (1973): The Mind's Eye in Chess. In: W. G. Chase (Hg.): *Visual information processing*. Proceedings. New York: Academic Press, S. 215–281.
- Chevron, M.-P. (2014): A metacognitive tool. Theoretical and operational analysis of skills exercised in structured concept maps. In: *Perspectives in Science* 2 (1-4), S. 46–54. DOI: 10.1016/j.pisc.2014.07.001.
- Chi, M. T. H.; Glaser, R.; Farr, M. J. (1988): *The Nature of Expertise*. New York: Psychology Press.
- Chinn, C. A.; Brewer, W. F. (1993): The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition. A Theoretical Framework and Implications for Science Instruction. In: *Review of Educational Research* 63 (1), S. 1. DOI: 10.2307/1170558.
- Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Hg.) (2017): *Modulhandbuch für Biologie Bachelor, 2-Fächer, Profil Lehramt an Gymnasien und Gemeinschaftsschulen*. Online verfügbar unter <https://www.biologie.uni-kiel.de/de/studienangebot/ablage-studiumsrelevanter-dateien-modulbeschreibungen-fpos-studienverlaufsplan-etc/modulhandbuch-ba-2f-biologie-fpo2017>, zuletzt geprüft am 03.07.2019.
- Clausen, S.; Christian, A. (2012): Concept Mapping als Messverfahren für den außerschulischen Bereich. In: *Journal für Didaktik der Biowissenschaften* 3, S. 18–31.
- Clough, M. P.; Olson, J. K. (2012): Impact of a Nature of Science and Science Education Course on Teachers' Nature of Science Classroom Practices. In: M. S. Khine (Hg.): *Advances in Nature of Science Research. Concepts and Methodologies*. Dordrecht: Springer Netherlands, S. 247–266.
- Cobb, P.; Confrey, J.; diSessa, A.; Lehrer, R.; Schauble, L. (2003): Design Experiments in Educational Research. In: *Educational Researcher* 32 (1), S. 9–13. Online verfügbar unter <http://www.jstor.org/stable/3699928>.

- Collins, A.; Brown, J. S.; Newman, S. E. (1989): Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In: L. Resnick (Hg.): *Knowing, Learning, and Instruction. Essays in Honor of Robert Glaser*. Mahwah: Routledge (Psychology of Education and Instruction Ser), S. 453–494.
- Combe, A.; Gebhard, U. (2012): *Verstehen im Unterricht. Die Rolle von Phantasie und Erfahrung*. Wiesbaden: Springer VS.
- Corts, M. (2017): Kraftwerk der Zelle. In: *Deutsche Heilpraktiker-Zeitschrift* 12 (04), S. 61. DOI: 10.1055/s-0043-109385.
- Danielli, J. F.; Davson, H. (1935): A contribution to the theory of permeability of thin films. In: *Journal of Cellular and Comparative Physiology* 5 (4), S. 495–508. DOI: 10.1002/jcp.1030050409.
- Dannemann, S.; Meier, M.; Hilfert-Rüppell D.; Kuhlemann, B.; Eghtessad, A.; Höner, K. et al. (2018): Erheben und Fördern der Diagnosekompetenz von Lehramtsstudierenden durch den Einsatz von Vignetten. In: M. Hammann und M. Lindner (Hg.): *Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik*. Innsbruck, Wien, Bozen: Studien Verlag (Lehr- und Lernforschung in der Biologiedidaktik, Band 8), S. 245–265.
- Deci, E. L.; Ryan, R. M. (1985): *Intrinsic Motivation and Self-Determination in Human Behavior*. Boston, MA: Springer US.
- deJong, A. J. M.; Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996): Types and qualities of knowledge. In: *Educational Psychologist* 31 (2), S. 105–113.
- Demircioğlu, G.; Yadigaroglu, M. (2014): A Comparison of Level of Understanding of Student Teachers and High School Students Related to the Gas Concept. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 116, S. 2890–2894. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.01.675.
- Deng, Z. (2007): Knowing the subject matter of a secondary-school science subject. In: *Journal of Curriculum Studies* 39 (5), S. 503–535. DOI: 10.1080/00220270701305362.
- Deng, Z. (2013): School subjects and academic disciplines: The differences. In: A. Luke, A. Woods und K. Weir (Hg.): *Curriculum syllabus design and equity. A primer and model*. New York: Routledge, S. 40–53.
- Dewey, J. (1902/1956): *The child and the curriculum and the school and society*. Chicago: Chicago University Press.
- diSessa, A. A.; Cobb, P. (2004): Ontological Innovation and the Role of Theory in Design Experiments. In: *The Journal Of The Learning Sciences* 13 (1).
- Dittmer, A. (2012): Wenn die Frage nach dem Wesen des Fachs nicht zum Wesen des Fachs gehört. Über den Stellenwert der Wissenschaftsreflexionen in der Biologielehrerbildung. In: *ZISU* (1), S. 146–160.
- Döring, N.; Bortz, J. (Hg.) (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Unter Mitarbeit von S. Pöschl-Günther. 5. vollständig überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer (Springer-Lehrbuch).
- Dresing, T.; Pehl, T. (Hg.) (2017): *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende*. 7. Auflage. Marburg: Eigenverlag.
- Dreyfus, A.; Jungwirth, E. (1988): The cell concept of 10th graders. Curricular expectations and reality. In: *International Journal of Science Education* 10 (2), S. 221–229. DOI: 10.1080/0950069880100210.
- Dreyfus, A.; Jungwirth, E.; Eliovitch, R. (1990): Applying the “cognitive conflict” strategy for conceptual change - some implications, difficulties, and problems. In: *Sci. Ed.* 74 (5), S. 555–569. DOI: 10.1002/sce.3730740506.
- Duit, R. (2004): Didaktische Rekonstruktion. In: *PIKO-BRIEF* (2).
- Duit, R. (2010): Didaktische Rekonstruktion. In: *PIKO-BRIEF* (3), S. 1–5.

- Duit, R. (2015): Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In: Ernst Kircher, Raimund Girwidz und Peter Häußler (Hg.): *Physikdidaktik. Theorie und Praxis*. 3. Aufl. Berlin: Springer Spektrum (Springer-Lehrbuch), S. 657–680.
- Duit, R.; Gropengießer, H.; Kattmann, U.; Komorek, M.; Parchmann, Ilka (2012): The Model of Educational Reconstruction – a Framework for Improving Teaching and Learning Science<sup>1</sup>. In: D. Jorde und J. Dillon (Hg.): *Science Education Research and Practice in Europe. Retrospective and Prospective*. Rotterdam: SensePublishers (Cultural Perspectives in Science Education, 5), S. 13–37.
- Duit, R.; Treagust, D. F. (2003): Conceptual change. A powerful framework for improving science teaching and learning. In: *International Journal of Science Education* 25 (6), S. 671–688. DOI: 10.1080/09500690305016.
- Edwards Roland, E. A. (2009): An Exploratory Study of High School Students Conceptions of Atomic and Cellular Structure and Relationships between Atoms and Cells. Dissertation. University of Kentucky, Lexington.
- Eisenberg, T. A. (1977): Begle Revisited: Teacher Knowledge and student achievement in algebra. In: *Journal for Research in Mathematics Education* 8 (3), S. 216–222.
- Engelman, D. M. (2005): Membranes are more mosaic than fluid. In: *Nature* 438 (7068), S. 578–580. DOI: 10.1038/nature04394.
- Eppler, M. J. (2006): A Comparison between Concept Maps, Mind Maps, Conceptual Diagrams, and Visual Metaphors as Complementary Tools for Knowledge Construction and Sharing. In: *Information Visualization* 5 (3), S. 202–210. DOI: 10.1057/palgrave.ivs.9500131.
- Ericsson, K. A.; Simon, H. A. (1993): Protocol analysis. Verbal reports as data. Rev. ed. Cambridge, Mass: MIT Press.
- Euler, D. (2014): Design Principles als Kristallisationspunkt für Praxisgestaltung und wissenschaftliche Erkenntnisgewinnung. In: D. Euler und P. F. E. Sloane (Hg.): *Design-Based Research*. 1. Aufl. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, S. 92–112.
- Fenn, M.; Seider, J. (2017): Welches Fachwissen ist für Geschichtslehrpersonen relevant? Erste Ergebnisse einer Delphi-Studie. In: *Zeitschrift für Geschichtsdidaktik* 16 (1), S. 199–217. DOI: 10.13109/zfgd.2017.16.1.199.
- Fenstermacher, G. D. (1994): The Knower and the Known: The Nature of Knowledge in Research on Teaching. In: *Review of Research in Education* 20 (1), S. 3–56. DOI: 10.3102/0091732X020001003.
- Feyerabend, P. (1979): Erkenntnis für freie Menschen. Paul Feyerabend. 7.-9. Taus. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Fisher, K. M.; Wandersee, J. H.; Moody, D. E. (2002): Mapping biology knowledge. New York: Kluwer Academic Publishers (Science & Technology Education Library, v. 11).
- Flores, F.; Tovar, M. E.; Gallegos, L. (2003): Representation of the cell and its processes in high school students. An integrated view. In: *International Journal of Science Education* 25 (2), S. 269–286. DOI: 10.1080/09500690210126793.
- Förtsch, C.; Heidenfelder, K.; Spangler, M.; Neuhaus, B. J. (2018): How does the Use of Core Ideas in Biology Lessons Influence Students' Knowledge Development? In: *ZfDN* 24 (1), S. 35–50. DOI: 10.1007/s40573-018-0071-1.
- Förtsch, C.; Werner, S.; Kotzebue, L. v.; Neuhaus, B. J. (2016): Effects of biology teachers' professional knowledge and cognitive activation on students' achievement. In: *International Journal of Science Education* 38 (17), S. 2642–2666. DOI: 10.1080/09500693.2016.1257170.
- Franklin, R. E.; Gosling, R. G. (1953): Molecular configuration in sodium thymonucleate. In: *Nature* 171 (4356), S. 740–741. DOI: 10.1038/171740a0.

- frustfrei-lernen.de (Hg.): Biomembran: Übersicht und Lipide. Online verfügbar unter <https://www.frustfrei-lernen.de/biologie/biomembran-transportvorgaenge-lipide-biologie.html>, zuletzt geprüft am 20.11.2020.
- Frye, L. D.; Edidin, M. (1970): The Rapid Intermixing of Cell Surface Antigens After Formation of Mouse-Human Heterokaryons. In: *Journal of Cell Science* 7, S. 319–335.
- Gemballa, S.; Markl, J. (2010): *Markl. Biologie Oberstufe*. 1. Aufl. Stuttgart: Klett.
- Gerle, C. (2019): Essay on Biomembrane Structure. In: *The Journal of membrane biology* 252 (2-3), S. 115–130. DOI: 10.1007/s00232-019-00061-w.
- Gerstenmaier, J.; Mandl, H. (1995): Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 41 (6), S. 867–888.
- Gess-Newsome, J.; Taylor, J. A.; Carlson, J.; Gardner, A. L.; Wilson, C. D.; Stuhlsatz, M. A. M. (2015): Teacher pedagogical content knowledge, practice, and student achievement. In: *International Journal of Science Education* 41 (7), S. 944–963. DOI: 10.1080/09500693.2016.1265158.
- Giest, H.; Wendland, M.; Schönemann, L. (2013): Professionsorientierung im Blickwinkel der Lehramtsstrukturen. In: J. Ludwig (Hg.): *Lehrerbildung in Potsdam. Eine kritische Analyse*. Potsdam: Universitätsverl. Potsdam (Potsdamer Beiträge zur Hochschulforschung, 2), S. 91–99.
- Glaser, R.; Bassok, M. (1989): Learning Theory and the Study of Instruction. In: *Annual Review of Psychology* 40 (1), S. 631–666. DOI: 10.1146/annurev.ps.40.020189.003215.
- Glaserfeld, E. von (1989): Cognition, Construction of Knowledge, and Teaching. In: *Synthese* 80 (1), S. 121–140.
- Gläser-Zikuda, M. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse in der Lernstrategie und Lernemotionsforschung. In: M. Gläser-Zikuda und P. Mayring (Hg.): *Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Weinheim, Basel: Beltz Verlagsgruppe, S. 63–83.
- Gläser-Zikuda, M.; Mayring, P. (Hg.) (2008): *Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse*. Weinheim, Basel: Beltz Verlagsgruppe.
- Glowinski, I.; Gillen, J.; Borowski, A.; Schanze, S.; Meien, J. v. (Hg.) (2018a): *Kohärenz in der universitären Lehrerbildung. Vernetzung von Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Bildungswissenschaften*. Potsdam: Universitätsverlag Potsdam.
- Glowinski, I.; Unverricht, K.; Borowski, A. (2018b): Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext als konzeptuelle Grundlage von berufsspezifischen Anteilen des fachwissenschaftlichen Studiums sowie von Fachdidaktik und Fachwissenschaft vernetzenden Lehrveranstaltungen. In: I. Glowinski, J. Gillen, A. Borowski, S. Schanze und J. v. Meien (Hg.): *Kohärenz in der universitären Lehrerbildung. Vernetzung von Fachwissenschaft, Fachdidaktik und Bildungswissenschaften*. Potsdam: Universitätsverlag Potsdam, S. 103–124.
- Goldsmith, T. E.; Johnson, P. J.; Acton, W. H. (1991): Assessing structural knowledge. In: *Journal of Educational Psychology* 83 (1), S. 88–96. DOI: 10.1037/0022-0663.83.1.88.
- González Weil, C. (2006): *Zusammenhang zwischen Konzeptwechsel und Metakognition. Empirische Untersuchungen über Verstehensprozesse im Bereich Zellbiologie in der 9. Jahrgangsstufe einer chilenischen Oberschule*. Univ., Diss.--München, 2005. Berlin: Logos-Verl.
- Gorter, E.; Grendel, F. (1925): On Bimolecular Layers of Lipoids on the Chromocytes of the Blood. In: *Journal of Experimental Medicine* 41 (4), S. 439–443.
- Gravemeijer, K. (2010): Fostering a dialectic relation between theory and practice. In: J. Anghileri (Hg.): *Principles and practices in arithmetic teaching. Innovative approaches for the primary classroom*. Repr. Buckingham: Open University Press, S. 147–161.
- Gravemeijer, K.; Cobb, P. (2006): Design Research from the Learning Design Perspective. In: J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenny und N. Nieven (Hg.): *Educational design research*. London: Routledge, S. 45–85.

- Griebel, M. (2017): Anwendung und Überarbeitung des Kategoriensystems zur Auswertung von Partnerinterviews zur Einschätzung einer Lerngelegenheit des Lehramtsstudiums. Bachelorarbeit. Potsdam, Universität Potsdam.
- Gropengießer, H. (1997): Didaktische Rekonstruktion des "Sehens". Wissenschaftliche Theorien und die Sicht der Schüler in der Perspektive der Vermittlung. Zugl.: Oldenburg, Univ., Diss., 1997. Oldenburg: Carl-von-Ossietzky-Univ. Oldenburg Zentrum für Pädag. Berufspraxis (Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, 1).
- Gropengießer, H. (2007): Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In: D. Krüger und H. Vogt (Hg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 105–116.
- Gropengießer, H. (2008): Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In: M. Gläser-Zikuda und P. Mayring (Hg.): Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim, Basel: Beltz Verlagsgruppe.
- Gropengießer, H.; Beier, M.; Wolter, J. (2010): Biologie. Lehrerbuch Oberstufe. 1. Auflage. Hg. v. J. Markl und S. Gemballa. Stuttgart, Leipzig: Ernst Klett Verlag.
- Gropengießer, H.; Harms, U.; Kattmann, U. (Hg.) (2016): Fachdidaktik Biologie. 10., durchgesehene Auflage. Hallbergmoos: Aulis Verlag.
- Gropengießer, H.; Kattmann, U. (2016a): Analyse fachlicher Aussagen in Lehrbüchern. In: H. Gropengießer, U. Harms und U. Kattmann (Hg.): Fachdidaktik Biologie. 10., durchgesehene Auflage. Hallbergmoos: Aulis Verlag, S. 8–11.
- Gropengießer, H.; Kattmann, U. (2016b): Didaktische Rekonstruktion. In: H. Gropengießer, U. Harms und U. Kattmann (Hg.): Fachdidaktik Biologie. 10., durchgesehene Auflage. Hallbergmoos: Aulis Verlag, S. 16–24.
- Grospietsch, F.; Mayer, J. (2018): Professioneller Konzeptwechsel zum Thema Neuromythen in der universitären Lehramtsausbildung Biologie. In: M. Meier, K. Ziepprecht und J. Mayer (Hg.): Lehrerausbildung in vernetzten Lernumgebungen. Münster, New York: Waxmann, S. 179–198.
- Grossman, P. L. (1990): The making of a teacher. Teacher knowledge and teacher education. New York: Teachers College Press (Professional development and practice series).
- Großschedl, J. (2010): Einfluss ausgewählter instruktorischer Maßnahmen auf Struktur und Niveau zellbiologischen Wissens. Zugl.: Kiel, Univ., Diss., 2010. Berlin: Logos.
- Großschedl, J.; Harms, U. (2013): Effekte metakognitiver Prompts auf den Wissenserwerb beim Concept Mapping und Notizen Erstellen. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 19, 375–395.
- Großschedl, J.; Mahler, D.; Kleickmann, T.; Harms, U. (2014): Content-Related Knowledge of Biology Teachers from Secondary Schools. Structure and learning opportunities. In: *International Journal of Science Education* 36 (14), S. 2335–2366. DOI: 10.1080/09500693.2014.923949.
- Gruber, H.; Mandl, H.; Renkl, A. (2000): Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In: H. Mandl und J. Gerstenmaier (Hg.): Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze. Göttingen, Bern, Toronto, Seattle: Hogrefe Verlag für Psychologie, S. 139–156.
- Gruber, H.; Renkl, A. (2000): Die Kluft zwischen Wissen und Handeln: Das Problem des trägen Wissens. In: G. H. Neuweg (Hg.): Wissen - Können - Reflexion. Ausgewählte Verhältnisbestimmungen. Innsbruck, Wien, München: Studien Verlag, S. 155–174.
- Grüner, G. (1967): Die didaktische Reduktion als Kernstück der Didaktik. Ausgewiesen an Beispielen der Berufsschul-Didaktik. In: *Die Deutsche Schule* 7/8, S. 414–430.
- Haagen-Schützenhöfer, C. (2014): Professionalisierung durch Lehren: Lehramtsstudierenden lehren und beforschen die Lernprozesse von Schülerinnen und Schülern. In: E. Feyerer, K. Hirschenhauser

und K. Soukup-Altrichter (Hg.): Last oder Lust? Forschung und Lehrer\_innenbildung. Münster, Westf: Waxmann (Beiträge zur Bildungsforschung, 2), S. 89–105.

Haider, H. (2000): Implizites Wissen: Anmerkungen aus der Perspektive der experimentellen Psychologie. In: G. H. Neuweg (Hg.): Wissen - Können - Reflexion. Ausgewählte Verhältnisbestimmungen. Innsbruck, Wien, München: Studien Verlag, S. 175–200.

Hammann, M.; Jördens, J. (2014): Offene Aufgaben codieren. In: D. Krüger, I. Parchmann und H. Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 169–178.

Hashweh, M. Z. (1987): Effects of subject-matter knowledge in the teaching of biology and physics. In: *Teaching and Teacher Education* 3 (2), S. 109–120. DOI: 10.1016/0742-051X(87)90012-6.

Haugwitz, M. (2009): Kontextorientiertes Lernen und Concept Mapping im Fach Biologie. Eine experimentelle Untersuchung zum Einfluss auf Interesse und Leistung unter Berücksichtigung von Moderationseffekten individueller Voraussetzungen beim kooperativen Lernen. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen.

Hefendehl-Hebeker, L. (2004): Perspektiven für einen künftigen Mathematikunterricht. In: H. Bayrhuber, B. Ralle, K. Reiss, L. H. Schön und H. J. Vollmer (Hg.): Konsequenzen aus PISA. Perspektiven der Fachdidaktiken: Studien Verlag (Forschungen zur Fachdidaktik), S. 141–189.

Heidenreich, T.; Gropengießer, H. (2017): Die fachliche Klärung als zentrale Planungsaufgabe für den Biologieunterricht. In: *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, S. 41–48.

Heidenreich, T.; Gropengießer, H. (2019): Alles klar bei der Fachlichen Klärung?! Expertenvorstellungen zur Fachlichen Klärung in der Lehr-Lernforschung und für den Unterricht. In: *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, S. 41–55.

Heimann, P.; Otto, G.; Schulz, W. (1979): Unterricht. Analyse und Planung. 10. Aufl. Hannover: Hermann Schroedel Verlag KG.

Heinze, A.; Dreher, A.; Lindmeier, A.; Niemand, C. (2016): Akademisches versus schulbezogenes Fachwissen – ein differenzierteres Modell des fachspezifischen Professionswissens von angehenden Mathematiklehrkräften der Sekundarstufe. In: *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, S. 1–21.

Helmke, A. (2003): Unterrichtsqualität erfassen, bewerten, verbessern. Unter Mitarbeit von F. E. Weinert. Seelze: Kallmeyer (Schulisches Qualitätsmanagement).

Helmke, A. (2015): Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts. 7. Auflage. Seelze-Velber: Klett/Kallmeyer (Schule weiterentwickeln, Unterricht verbessern Orientierungsband).

Herfter, C.; Maruhn, F.; Wachler, K. (2011): Der Abbruch des Lehramtsstudiums. Zahlen und Hintergründe. Ergebnisse einer Fragebogenstudie an der Universität Leipzig. Projektbericht. Universität Leipzig, Leipzig.

Hermanns, J. (2019): Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext – Konzeption und Evaluation von Aufgaben zur Vorlesung „Organische Experimentalchemie I“. In: *CHEMKON* 26 (1), S. 31–35. DOI: 10.1002/ckon.201800024.

Hesse, M. (2002): Nur geringes Wissen über Zellbiologie. Eine empirische Studie an Lehramtsstudierenden. In: *IDB Münster, Ber. Inst. Didaktik Biologie* 11, S. 21–33.

Heublein, U.; Ebert, J.; Hutzsch, C.; Isleib, S.; König, R.; Richter, J.; Woisch, A. (2017): Zwischen Studierenerwartungen und Studienwirklichkeit. Ursachen des Studienabbruchs, beruflicher Verbleib der Studienabbrecherinnen und Studienabbrecher und Entwicklung der Studienabbruchquote an deutschen Hochschulen (Forum Hochschule, 1).

Hill, H. C.; Schilling, S. G.; Ball, D. L. (2004): Developing Measures of Teachers' Mathematics Knowledge for Teaching. In: *The Elementary School Journal* 104 (1), S. 11–30.



- Hiller, J. (2017): Die Unternehmensfallstudie als Unterrichtsmethode für den Geographieunterricht. Dissertation. Münster: Münsterscher Verlag für Wissenschaft (Geographiedidaktische Forschungen, 67).
- Hodgkin, A. L.; Katz, B. (1949): The effect of sodium ions on the electrical activity of giant axon of the squid. In: *The Journal of physiology* 108 (1), S. 37–77. DOI: 10.1113/jphysiol.1949.sp004310.
- Höttecke, D. (2012): HIPST—History and Philosophy in Science Teaching. A European Project. In: *Sci & Educ* 21 (9), S. 1229–1232. DOI: 10.1007/s11191-011-9435-3.
- IUPAC (Hg.) (2009): IUPAC Compendium of Chemical Terminology. Unter Mitarbeit von A. D. McNaught und A. Wilkens. Research Triangle Park, NC: IUPAC.
- Jonassen, D. H.; Yacci, M.; Beissner, K. (2012): Structural Knowledge. Techniques for Representing, Conveying, and Acquiring Structural Knowledge. Hoboken: Taylor and Francis.
- Jung, W. (1993): Hilft die Entwicklungspsychologie dem Naturwissenschaftsdidaktiker? In: H. Stork, R. Duit und W. Gräber (Hg.): Kognitive Entwicklung und Lernen der Naturwissenschaften. Tagungsband zum 20. IPN-Symposium aus Anlass des 60. Geburtstages von Prof. Dr. Heinrich Stork. Kiel: IPN (IPN, 135), S. 86–108.
- Kattmann, U. (2003): „Vom Blatt zum Planeten“ – Scientific Literacy und kumulatives Lernen im Biologieunterricht und darüber hinaus. In: B. Moschner, H. Kiper und U. Kattmann (Hg.): PISA 2000 als Herausforderung. Perspektiven für Lehren und Lernen. Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren, S. 115–138.
- Kattmann, U. (2007): Didaktische Rekonstruktion - Eine praktische Theorie. In: D. Krüger und H. Vogt (Hg.): Theorien in der biolgieidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), S. 93–104.
- Kattmann, U.; Duit, R.; Gropengießer, H.; Komorek, M. (1997): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3 (3), S. 3–18.
- Kattmann, U.; Jungwirth, E. (1988): Beachten logischer Strukturen im Biologieunterricht. In: *Unterricht Biologie* 12 (139), S. 42–46.
- Kauper, T.; Retelsdorf, J.; Rösler, L.; Möller, J.; Prenzel, M.; Drechsel, B. (2012): PaLea – Panel zum Lehramtsstudium. Skalendokumentation und Häufigkeitsauszählungen des BMBF-Projekts. 2. Welle; Februar / März 2010.
- Kelle, U.; Kluge, S. (2010): Vom Einzelfall zum Typus. Fallvergleich und Fallkontrastierung in der qualitativen Sozialforschung. 2., überarb. Aufl. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss.
- Kendrew, J. C. (1963): Myoglobin and the structure of proteins. In: *Science (New York, N.Y.)* 139 (3561), S. 1259–1266. DOI: 10.1126/science.139.3561.1259.
- Kinchin, I. M.; Hay, D. B. (2000): How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. In: *Educational Research* 42 (1), S. 43–57.
- Kirschner, P. A.; Sweller, J.; Clark, R. E. (2006): Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching. In: *Educational Psychologist* 41 (2), S. 75–86.
- Klafki, W. (1964): Didaktische Analyse als Kern der Unterrichtsvorbereitung. In: H. Roth und A. Blumenthal (Hg.): Didaktische Analyse. Hannover: Schroedel (Auswahl Reihe A, 1), S. 5–34.
- Klein, F. (1924): Elementarmathematik vom höheren Standpunkte aus. Bd. 1: Arithmetik, Algebra, Analysis. 4. Auflage. Berlin: Julius Springer Berlin.
- Kleinig, H.; Sitte, P. (1984): Zellbiologie. 1. Aufl. Stuttgart: Fischer.

- KMK (2004a): Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004. Hg. v. KMK. Online verfügbar unter [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2004/2004\\_12\\_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf), zuletzt geprüft am 04.06.2019.
- KMK (2004b): Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Biologie. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004. Online verfügbar unter [https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen\\_beschluesse/1989/1989\\_12\\_01-EPA-Biologie.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1989/1989_12_01-EPA-Biologie.pdf), zuletzt geprüft am 07.06.2019.
- KMK (2008): Ländergemeinsame inhaltliche Anforderungen für die Fachwissenschaften und Fachdidaktiken in der Lehrerbildung. Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.10.2008 i. d. F. vom 16.05.2019. KMK. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen\\_beschluesse/2008/2008\\_10\\_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf](https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf), zuletzt geprüft am 01.09.2015.
- Koponen, M.; Asikainen, M. A.; Viholainen, A.; Hirvonen, P. E. (2016): Teachers and their Educators - Views on Contents and their Development Needs in Mathematics Teacher Education. In: *The Mathematical Enthusiast* 13 (1 & 2), S. 149–170.
- Körper, A.; Schreiber, W.; Schöner, A. (Hg.) (2007): Kompetenzen historischen Denkens. Ein Strukturmodell als Beitrag zur Kompetenzorientierung in der Geschichtsdidaktik. Neuried: ars una (Kompetenzen, Band 2).
- Korn, E. D. (1966): Structure of biological membranes. In: *Science (New York, N.Y.)* 153 (3743), S. 1491–1498. DOI: 10.1126/science.153.3743.1491.
- Krauss, S.; Bruckmeier, G. (2014): Das Expertenparadigma in der Forschung zum Lehrerberuf. In: E. Terhart, H. Bennewitz und M. Rothland (Hg.): *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf*. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Münster, New York: Waxmann, S. 241–261.
- Krauss, S.; Lindl, A.; Schilcher, A.; Tepner, O. (2017): Das Forschungsprojekt FALKO - ein einleitender Überblick. In: S. Krauss, A. Lindl, A. Schilcher, M. Fricke, A. Göhring, B. Hofmann et al. (Hg.): *FALKO: Fachspezifische Lehrerkompetenzen. Konzeption von Professionswissenstests in den Fächern Deutsch, Englisch, Latein, Physik, Musik, Evangelische Religion und Pädagogik: mit neuen Daten aus der COACTIV-Studie*. Münster, New York: Waxmann, S. 9–66.
- Krauss, S.; Neubrand, M.; Blum, W.; Baumert, J.; Brunner, M.; Kunter, M.; Jordan, A. (2008): Die Untersuchung des professionellen Wissens deutscher Mathematik-Lehrerinnen und -Lehrer im Rahmen der COACTIV-Studie. In: *Journal für Mathematikdidaktik* 29 (3-4), S. 223–258.
- Kroß, A.; Lind, G. (2001): Einfluss des Vorwissens auf Intensität und Qualität des Selbsterklärens beim Lernen mit biologischen Beispielaufgaben. In: *Unterrichtswissenschaft* 29 (1), S. 5–25.
- Krüger, D. (2007): Die Conceptual Change-Theorie. In: D. Krüger und H. Vogt (Hg.): *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).
- Kuckartz, U. (2010): *Einführung in die computergestützte Analyse qualitativer Daten*. 3., aktualisierte Aufl. Wiesbaden: VS Verl. für Sozialwiss (Lehrbuch).
- Kuckartz, U. (2012): *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.
- Kuhn, T. S. (1976 [1967]): *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Kunter, M. (2011): Motivation als Teil der professionellen Kompetenz. Forschungsbefunde zum Enthusiasmus von Lehrkräften. In: M. Kunter, J. Baumert, W. Blum und M. Neubrand (Hg.): *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster: Waxmann, S. 259–275.
- Kunter, M.; Baumert, J.; Blum, W.; Neubrand, M. (Hg.) (2011): *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster: Waxmann.

- Kurt, H.; Ekici, G.; Aksu, Ö.; Aktaş, M. (2013): Determining Cognitive Structures and Alternative Conceptions on the Concept of Reproduction (The Case of Pre-Service Biology Teachers). In: *CE 04* (09), S. 572–587. DOI: 10.4236/ce.2013.49083.
- Kwasniewski, E.; Graaf, E. de; Schmeling, M.; Raja R. C. (2010/2011): Wunderwelt Zelle. Arbeitsblatt 8- Was haben eine Zelle und eine Stadt gemeinsam? In: *planet schule* (2), S. 54. Online verfügbar unter [https://www.planet-schule.de/fileadmin/dam\\_media/swr/der\\_kern\\_des\\_lebens/pdfdoc/kern\\_des\\_lebens\\_zelle\\_ab8.pdf](https://www.planet-schule.de/fileadmin/dam_media/swr/der_kern_des_lebens/pdfdoc/kern_des_lebens_zelle_ab8.pdf), zuletzt geprüft am 05.07.2019.
- Lakoff, George; Johnson, Mark (2014 [1980]): *Leben in Metaphern. Konstruktion und Gebrauch von Sprachbildern*. 8. Aufl. Heidelberg: Carl-Auer-Verl. (Systemische Horizonte). Online verfügbar unter <http://d-nb.info/972534180/04>, zuletzt geprüft am 21.11.2020.
- Lampert, M. (1991): Connecting mathematical teaching and learning. In: E. Fennema, T. P. Carpenter und Lamon S. J. (Hg.): *Integrating Research on Teaching and Learning Mathematics*. Albany: State University of New York Press, S. 121–152.
- Landesamt für Schule und Lehrerbildung (Hg.) (2014): *Vorbereitungsdienst im Land Brandenburg. Handreichung für Lehramtskandidatinnen und Lehramtskandidaten*. Potsdam: GS Druck und Medien GmbH.
- Lederman, N. G. (2007): Nature of Science: Past, Present and Future. In: S. K. Abell und N. G. Lederman (Hg.): *Handbook of Research on Science Education*. New York: Routledge, S. 831–879.
- Leinhardt, G.; Greeno, J. G. (1986): The cognitive skill of teaching. In: *Journal of Educational Psychology* 78 (2), S. 75–95. DOI: 10.1037/0022-0663.78.2.75.
- lernhelfer.de* (Hg.): *Membranmodelle im Wandel der Zeit*. Online verfügbar unter <https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie-abitur/artikel/membranmodelle-im-wandel-der-zeit>, zuletzt geprüft am 21.11.2020.
- Lersch, R. (2006): *Lehrerbildung im Urteil der Auszubildenden. Eine empirische Studie zu beiden Phasen der Lehrerausbildung*. In: C. Allemann-Ghionda und E. Terhart (Hg.): *Kompetenzen und Kompetenzentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern: Ausbildung und Beruf*. Weinheim, Basel: Beltz (Zeitschrift für Pädagogik Beiheft, 51), S. 164–181.
- Leufer, N.; Prediger, S. (2006): „Vielleicht brauchen wir das ja doch in der Schule“ Sinnstiftung und Brückenschläge in der Analysis als Bausteine zur Weiterentwicklung der fachinhaltlichen gymnasialen Lehrerbildung. In: A. Büchter (Hg.): *Realitätsnaher Mathematikunterricht. Vom Fach aus und für die Praxis ; Festschrift für Hans-Wolfgang Henn zum 60. Geburtstag*. Unter Mitarbeit von H.-W. Henn. Hildesheim, Berlin: Franzbecker.
- Lindl, A.; Krauss, S. (2017): *Transdisziplinäre Perspektiven auf domänenspezifische Lehrerkompetenzen. Eine Metanalyse zentraler Resultate des Forschungsprojektes FALKO*. In: S. Krauss, A. Lindl, A. Schilcher, M. Fricke, A. Göhring, B. Hofmann et al. (Hg.): *FALKO: Fachspezifische Lehrerkompetenzen. Konzeption von Professionswissenstests in den Fächern Deutsch, Englisch, Latein, Physik, Musik, Evangelische Religion und Pädagogik : mit neuen Daten aus der COACTIV-Studie*. Münster, New York: Waxmann, S. 381–434.
- Loch, C. (2015): *Komponenten des mathematischen Fachwissens von Lehramtsstudierenden*. 1. Aufl. München: Verl. Dr. Hut (Sozialwissenschaften).
- Loch, C.; Lindmeier, A.; Heinze, A. (2014): *Elementare Validität der KiL-Maße für fachdidaktisches Wissen und Fachwissen im schulischen Kontext von Lehramtsstudierenden der Mathematik*. In: J. Roth und J. Ames (Hg.): *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014*. Münster: WTM-Verlag, S. 759–762.
- Lodish, H.; Lange, C.; Berk, A.; Zipursky, S. L.; Matsudaira, P. T.; Baltimore, D. et al. (2001): *Molekulare Zellbiologie*. 4. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag (Spektrum-Lehrbuch).
- Losev, E.; Reinke, C. A.; Jellen, J.; Strongin, D. E.; Bevis, B. J.; Glick, Benjamin S. (2006): *Golgi maturation visualized in living yeast*. In: *Nature* 441 (7096), S. 1002–1006. DOI: 10.1038/nature04717.

- Löwen, K.; Baumert, J.; Kunter, M.; Krauss, S.; Brunner, M. (2011): Methodische Grundlagen des Forschungsprogramms. In: M. Kunter, J. Baumert, W. Blum und M. Neubrand (Hg.): Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV. Münster: Waxmann, S. 69–84.
- Lüke, N.; Seider, J.; Fenn, M. (2018): Struktur und Inhalt des fachbezogenen Professionswissens angehender Lehrkräfte in den Geisteswissenschaften. *heiEDUCATION Journal* 2 (1), S. 75–98. DOI: 10.17885/HEIUP.HEIED.2018.1-2.23827.
- Magnusson, S.; Krajcik, J.; Borko, H. (2005 (1999)): Nature, Sources, and Development of Pedagogical Content Knowledge for Science Teaching. In: J. Gess-Newsome und N. G. Lederman (Hg.): Examining pedagogical content knowledge. The construct and its implications for science education, Bd. 6. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers (Science & Technology Education Library, v. 6), S. 95–132.
- Mahler, D.; Großschedl, J.; Harms, U. (2017): Using doubly latent multilevel analysis to elucidate relationships between science teachers' professional knowledge and students' performance. In: *International Journal of Science Education* 39 (2), S. 213–237. DOI: 10.1080/09500693.2016.1276641.
- Mahler, D.; Großschedl, J.; Harms, U. (2018): Does motivation matter? - The relationship between teachers' self-efficacy and enthusiasm and students' performance. In: *PloS one* 13 (11), e0207252. DOI: 10.1371/journal.pone.0207252.
- Mani, S.; Thattai, M. (2016): Stacking the odds for Golgi cisternal maturation. In: *eLife* 5. DOI: 10.7554/eLife.16231.
- Martens, M.; Gresch, H. (2018): Ambivalente Fachlichkeiten. Die (Re) Produktion fachlicher Vorstellungen im Biologieunterricht. In: M. Martens, K. Rabenstein, K. Bräu, M. Fetzer, H. Gresch, I. Hardy und C. Schelle (Hg.): Konstruktionen von Fachlichkeit. Ansätze, Erträge und Diskussionen in der empirischen Unterrichtsforschung. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt, S. 275–288.
- Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg (Hg.) (2018): Modullhandbuch für den Studiengang: Biologie im Bachelor. Online verfügbar unter <http://wcms.itz.uni-halle.de/download.php?down=42219&elem=2970782>, zuletzt geprüft am 03.07.2019.
- Massolt, J.; Borowski, A. (2018): Increasing the Perceived Relevance of University Physics Problems by Focusing on School-Related Content Knowledge. In: *heiEDUCATION Journal* 2 (1), S. 99–125. DOI: 10.17885/HEIUP.HEIED.2018.1-2.23828.
- Mayring, P. (2008): Neuer Entwicklungen in der qualitativen Forschung und der Qualitativen Inhaltsanalyse. In: M. Gläser-Zikuda und P. Mayring (Hg.): Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse. Weinheim, Basel: Beltz Verlagsgruppe, S. 7–19.
- Mayring, P. (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 12., überarb. Aufl. Weinheim: Beltz (Beltz Pädagogik).
- McKenney, S. E.; Reeves, T. C. (2012): Conducting educational design research. Milton Park, Abingdon, Oxon: Routledge. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10542344>, zuletzt geprüft am 06.08.2019.
- Merton, R. K.; Kendall, P. L. (1993): Das fokussierte Interview. In: C. Hopf und E. Weingarten (Hg.): Qualitative Sozialforschung. 3. Aufl. Stuttgart: Klett-Cotta, S. 171–204.
- Michael, J. (2007): Conceptual assessment in the biological sciences. A National Science Foundation-sponsored workshop. In: *Advances in physiology education* 31 (4), S. 389–391. DOI: 10.1152/advan.00047.2007.
- Michael, J.; Cliff, W.; McFarland, J.; Modell, H.; Wright, A. (2017): The Core Concepts of Physiology. A New Paradigm for Teaching Physiology. New York, NY: Springer.
- Michael, J.; McFarland, J. (2011): The core principles ("big ideas") of physiology. Results of faculty surveys. In: *Advances in physiology education* 35 (4), S. 336–341. DOI: 10.1152/advan.00004.2011.

- Michael, J.; Modell, H.; McFarland, J.; Cliff, W. (2009): The "core principles" of physiology. What should students understand? In: *Advances in physiology education* 33 (1), S. 10–16. DOI: 10.1152/advan.90139.2008.
- Mintzes, J. J.; Wandersee, J. H.; Novak, J. D. (2001): Assessing understanding in biology. In: *Journal of Biological Education* 35 (3), S. 118–124. DOI: 10.1080/00219266.2001.9655759.
- Mintzes, J. J.; Wandersee, J. H.; Novak, J. D. (2005): Teaching science for understanding. A human constructivist view. Burlington, MA: Elsevier Academic Press (Educational psychology series).
- Miram, W. (Hg.) (2001): Biologie heute S II. Dr. A, [Nachdr.]. Hannover: Schroedel-Schulbuchverl.
- Mischau, A.; Blunck, A. (2006): Mathematikstudierende, ihr Studium und ihr Fach: Einfluss von Studiengang und Geschlecht. In: *DMV-Mitteilungen* 14 (1), S. 46–52. Online verfügbar unter <http://www.mathematik.de/ger/presse/ausdenmitteilungen/artikel/mdmv14-1-046-mischau-blunck.pdf>, zuletzt geprüft am 18.04.2016.
- Mitchell, A. A.; Chi, M. T. (1984): Measuring knowledge within a domain. In: P. Nagy (Hg.): The representation of cognitive structure. Toronto: Ontario Institute for Studies in Education, S. 85–109.
- Mitchell, P. (1961): Coupling of phosphorylation to electron and hydrogen transfer by a chemi-osmotic type of mechanism. In: *Nature* 191, S. 144–148. DOI: 10.1038/191144a0.
- Müller, S.; Reiners, C. S. (2019): Resistente Vorstellungen von Lehramtskandidaten über Nature of Science. In: C. Maurer (Hg.): Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Jahrestagung der Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Kiel, 2018, S. 58–61.
- Nehm, R. H.; Schonfeld, I. S. (2008): Measuring knowledge of natural selection. A comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. In: *J. Res. Sci. Teach.* 45 (10), S. 1131–1160. DOI: 10.1002/tea.20251.
- Nesbit, J. C.; Adesope, O. O. (2006): Learning With Concept and Knowledge Maps: A Meta-Analysis. In: *Review of Educational Research* 76 (3), S. 413–448.
- Neuroth, J. (2007): Concept Mapping als Lernstrategie. Eine Interventionsstudie zum Chemielernen aus Texten. Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2007. Berlin: Logos (Studien zum Physik- und Chemielernen, 64).
- Neuweg, G. H. (Hg.) (2000): Wissen - Können - Reflexion. Ausgewählte Verhältnisbestimmungen. Innsbruck, Wien, München: Studien Verlag.
- Neuweg, G. H. (2006): Emergenzbedingungen pädagogischer Könnerschaft. In: H. Heid und C. Harteis (Hg.): *verwertbarkeit. Ein Qualitätskriterium erziehungswissenschaftlichen Wissens?* Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, S. 205–228.
- Neuweg, G. H. (2015): *Das Schweigen der Könner. Gesammelte Schriften zum impliziten Wissen.* 1. Aufl. s.l.: Waxmann Verlag GmbH.
- Niedderer, H.; Goldberg, F.; Duit, R. (1992): Towards Learning Process Studies: A Review of the Workshop on Research in Physics Learning. In: R. Duit, F. M. Goldberg und H. Niedderer (Hg.): *Research in physics learning. Theoretical issues and empirical studies ; proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen, March 4-8, 1991.* Kiel: Inst. für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Univ (IPN, 131).
- Novak, J. D. (1998): Learning, creating, and using knowledge. Concept maps as facilitative tools in schools and corporations. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Oevermann, U. (1996): Theoretische Skizze einer revidierten Theorie professionalisierten Handelns. In: A. Combe und W. Helsper (Hg.): *Pädagogische Professionalität. Untersuchungen zum Typus pädagogischen Handelns.* Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 1230), S. 70–182.

- Park, S.; Oliver, J. S. (2008): Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals. In: *Research in Science Education* 38 (3), S. 261–284.
- Parton, R. G.; Simons, K. (2007): The multiple faces of caveolae. In: *Nature reviews. Molecular cell biology* 8 (3), S. 185–194. DOI: 10.1038/nrm2122.
- Pauling, L.; Corey, R. B. (1953): A Proposed Structure For The Nucleic Acids. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 39 (2), S. 84–97. DOI: 10.1073/pnas.39.2.84.
- Pelkmans, L.; Helenius, A. (2002): Endocytosis Via Caveolae. Review. In: *Traffic* 3, S. 311–320.
- Petri, J. (2014): Fallstudien zur Analyse von Lernpfaden. In: D. Krüger, I. Parchmann und H. Schecker (Hg.): *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 95–106.
- Petty, R. E.; Cacioppo, J. T. (1986): The Elaboration Likelihood Model of Persuasion. In: L. Berkowitz (Hg.): *Advances in experimental social psychology*, Bd. 19. Orland (FL): Academic Press (Advances in Experimental Social Psychology, vol. 19), S. 123–205.
- Plattner, H.; Hentschel, J. (2006): *Zellbiologie*. 3., komplett überarb. und erw. Aufl. Stuttgart, New York: THIEME.
- Plomp, T. (2013): Educational Design Research: An Introduction. In: T. Plomp und N. Nieveen (Hg.): *Educational Design Research. Part A: An introduction*. Rev. ed. Enschede Netherlands: Netherlands Institute for Curriculum Development, S. 10–51.
- Polányi, M. (1985 [1966]): *Implizites Wissen*. 2. Auflage. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft, 543).
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W.; Gertzog, W. A. (1982): Accommodation of a scientific conception. Toward a theory of conceptual change. In: *Sci. Ed.* 66 (2), S. 211–227. DOI: 10.1002/sce.3730660207.
- Prediger, S. (2013): Unterrichtsmomente als explizite Lernanlässe in fachinhaltlichen Veranstaltungen. Ein Ansatz zur Stärkung der mathematischen Fundierung unterrichtlichen Handelns. In: C. Ableitinger, J. Kramer und S. Prediger (Hg.): *Zur doppelten Diskontinuität in der Gymnasiallehrerbildung. Ansätze zu Verknüpfungen der fachinhaltlichen Ausbildung mit schulischen Vorerfahrungen und Erfordernissen*. Wiesbaden: Springer Spektrum (SpringerLink : Bücher), S. 151–168.
- Prediger, S. (2015): Theorien und Theoriebildung in didaktischer Forschung und Entwicklung. In: R. Bruder (Hg.): *Handbuch der Mathematikdidaktik*. Berlin: Springer Spektrum, S. 643–662.
- Prediger, S. (2019): Design-Research in der gegenstandsspezifischen Professionalisierungsforschung. Ansatz und Einblick in Vorgehensweisen und Resultate. In: E. Christophel, M. Hemmer, F. Korneck, T. Leuders und P. Labudde (Hg.): *Fachdidaktische Forschung zur Lehrerbildung*. 1. Auflage. Münster: Waxmann (Fachdidaktische Forschungen, 11), S. 11–34.
- Prediger, S.; Link, M. (2012): Fachdidaktische Entwicklungsforschung – Ein lernprozessfokussierendes Forschungsprogramm mit Verschränkung fachdidaktischer Arbeitsbereiche. In: H. Bayrhuber (Hg.): *Formate fachdidaktischer Forschung. Empirische Projekte - historische Analysen - theoretische Grundlegungen*. Münster: Waxmann (Fachdidaktische Forschungen, 2), S. 29–46.
- Prediger, S.; Link, M.; Hinz, R.; Hussmann, S.; Ralle, B.; Thiele, J. (2012): Lehr-Lernprozesse initiieren und erforschen. Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. In: *MNU* 65 (8), S. 452–457.
- Prediger, S.; Quasthoff, U.; Vogler, A.-M.; Heller, V. (2015): How to elaborate what teachers should learn? Five steps for content specification of professional development programs, exemplified by

“moves supporting participation in classroom discussions”. In: *Journal für Mathematikdidaktik* 36 (2), S. 233–257.

Prenzel, M. (1996): Bedingungen für selbstbestimmt motiviertes und interessiertes Lernen im Studium. In: J. Lompscher und H. Mandl (Hg.): *Lehr- und Lernprobleme im Studium. Bedingungen und Veränderungsmöglichkeiten*. 1. Aufl. Bern: Huber (Aus dem Programm Huber Psychologie-Forschung), S. 11–22.

Rädiker, S.; Kuckartz, U. (2019): *Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA. Text, Audio und Video*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Radisch, F.; Driesner, I.; Arndt, M.; Güldener, T.; Czapowski, J.; Petry, M.; Seeber, A. (2018): *Studienerfolg und -misserfolg im Lehramtsstudium. Abschlussbericht*. Universität Rostock. Rostock. Online verfügbar unter [https://www.zlb.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/ZLB/Forschung\\_und\\_Entwicklung/Studienerfolg\\_und\\_Studienmisserfolg/Abschlussbericht\\_Studienerfolg\\_und\\_-misserfolg\\_im\\_Lehramtsstudium.pdf](https://www.zlb.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/ZLB/Forschung_und_Entwicklung/Studienerfolg_und_Studienmisserfolg/Abschlussbericht_Studienerfolg_und_-misserfolg_im_Lehramtsstudium.pdf), zuletzt geprüft am 20.09.2020.

Ralle, B.; Prediger, S.; Rothgangel, M.; Hammann, M. (Hg.) (2014): *Lernaufgaben entwickeln, bearbeiten und überprüfen*. Münster: Waxmann Verlag.

Rebich, S.; Gautier, C. (2005): Concept Mapping to Reveal Prior Knowledge and Conceptual Change in a Mock Summit Course on Global Climate Change. In: *Journal of Geoscience Education* 53 (4), S. 355–365.

Reinders, H. (2011): Interview. In: H. Reinders, H. Ditton, C. Gräsel und B. Gniewosz (Hg.): *Empirische Bildungsforschung. Strukturen und Methoden*. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden, S. 85–97.

Reinfried, S.; Mathis, C.; Kattmann; U. (2009): Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. In: *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung* 27 (3), S. 404–414.

Reinisch, B. (2018): *Die Natur der Naturwissenschaften verstehen*. Dissertation. Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Reinmann, G. (2014): Welchen Stellenwert hat die Entwicklung im Kontext von Design Research? Wie wird Entwicklung zu einem wissenschaftlichen Akt? In: D. Euler und P. F. E. Sloane (Hg.): *Design-Based Research*. 1. Aufl. Stuttgart: Franz Steiner Verlag, S. 63–78.

Reinmann, G. (2016): *Design-Based Research am Beispiel hochschuldidaktischer Forschung*. Bildungsforschungstagung. BMBF. Berlin, 18.11.2016. Online verfügbar unter [https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2016/11/Vortrag\\_Berlin\\_Nov2016.pdf](https://gabi-reinmann.de/wp-content/uploads/2016/11/Vortrag_Berlin_Nov2016.pdf), zuletzt geprüft am 22.11.2020.

Reinmann, G.; Mandl, H. (2006): Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In: *Pädagogische Psychologie : ein Lehrbuch*. Weinheim [u.a.]: Beltz PVU, S. 613–658.

Reinmann, G.; Sensik, W. (2011): *Entwicklungsorientierte Bildungsforschung*. Diskussionspapier, dessen Grundzüge auf der Herbsttagung 2011 der Sektion Medienpädagogik am 3./4. November 2011 an der Universität Leipzig. Sektion Medienpädagogik. Universität Leipzig. Online verfügbar unter [http://www.abpaed.tu-darmstadt.de/media/arbeitsbereich\\_bildung\\_und\\_technik/publikationen/Sesink-Reinmann\\_Entwicklungsforschung\\_v05\\_20\\_11\\_2011.pdf](http://www.abpaed.tu-darmstadt.de/media/arbeitsbereich_bildung_und_technik/publikationen/Sesink-Reinmann_Entwicklungsforschung_v05_20_11_2011.pdf), zuletzt geprüft am 27.06.2018.

Reitz-Koncebovski, K.; Hermanns, J.; Kortenkamp, U.; Kuzle, A. (2020): *Qualitätsoffensive Lehrerbildung an der Universität Potsdam. Projekt SPIES zur Professionalisierung der Lehrerbildung Mathematik*. In: *Mitteilungen der GDM*, 109, S. 25–30.

Reitz-Koncebovski, K.; Kortenkamp, U.; Goral, J. (2018): *Gestaltungsprinzipien für fachwissenschaftliche Einführungsveranstaltungen in den Lehramtsstudiengängen Mathematik*. In: A. Borowski, H. Prechtel und A. Ehlert (Hg.): *PSI-Potsdam. Ergebnisbericht zu den Aktivitäten im*

- Rahmen der Qualitätsoffensive Lehrerbildung (2015-2018). Potsdam: Universitätsverlag Potsdam (Potsdamer Beiträge zur Lehrerbildung und Bildungsforschung, 1), S. 175–188.
- Renkel, A. (1996): Träges Wissen: Wenn Erlerntes nicht genutzt wird. In: *Psychologische Rundschau* 47, S. 78–92.
- Riemeier, T. (2005): Biologie verstehen. Die Zelltheorie. Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2004 u.d.T.: Riemeier, Tanja: Wie Lerner die Zelltheorie besser verstehen lernen. 1. Aufl. Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl-von-Ossietzky-Univ (Beiträge zur didaktischen Rekonstruktion, 7).
- Riemeier, T. (2007): Moderater Konstruktivismus. In: D. Krüger und H. Vogt (Hg.): Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch), 69-79.
- Riese, J. (2009): Professionelles Wissen und professionelle Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Berlin: Logos-Verl. (Studien zum Physik- und Chemielernen, Bd. 97).
- Riese, J.; Kulgemeyer, C.; Zander, S.; Borowski, A.; Fischer, H. E.; Gramzow, Y. et al. (2015): Modellierung und Messung des Professionswissens in der Lehramtsausbildung Physik. In: S. Blömeke und O. Zlatkin-Troitschanskaia (Hg.): Kompetenzen von Studierenden. Weinheim, Basel: Beltz Juventa (Zeitschrift für Pädagogik: Beiheft, 61), S. 55–79.
- Rinschede, G. (2009): Geographiedidaktik. 3., völlig neu bearb. und erw. Aufl. Paderborn: Schöningh (Grundriss Allgemeine Geographie, 2324).
- Robertson, J. D. (1959): The ultrastructure of cell membranes and their derivatives. In: *Biochemical Society symposium* 16, S. 3–43.
- Roßbegalle, T. (2015): Fachdidaktische Entwicklungsforschung zum besseren Verständnis atmosphärischer Phänomene. Dissertation (Studien zum Physik- und Chemielernen, 189).
- Roth, H. (1963): Pädagogische Psychologie des Lehrens und Lernens. Hannover: Schroedel-Verlag.
- Roth, W.-M.; Roychoudhury, A. (1993): The concept map as a tool for the collaborative construction of knowledge. A microanalysis of high school physics students. In: *J. Res. Sci. Teach.* 30 (5), S. 503–534. DOI: 10.1002/tea.3660300508.
- Rothland, Martin (Hg.) (2016): Beruf Lehrer/Lehrerin. Ein Studienbuch. Münster, New York, Stuttgart: Waxmann; UTB (utb Schulpädagogik, 8680).
- Ruiz-Primo, M. A.; Shavelson, R. J. (1997): Concept-Map Based Assessment: On Possible Sources of Sampling Variability.
- Ryle, G. (2002 [1949]): Der Begriff des Geistes. [Nachdr.]. Stuttgart: Reclam (Universal-Bibliothek, 8331).
- Salomon, G.; Globerson, T. (1987): Skill may not be enough. The role of mindfulness in learning and transfer. In: *International Journal of Educational Research* 11 (6), S. 623–637. DOI: 10.1016/0883-0355(87)90006-1.
- Sandmann, A. (2014): Lautes Denken - die Analyse von Denk-, Lern- und Problemlöseprozessen. In: D. Krüger, I. Parchmann und H. Schecker (Hg.): Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 179–188.
- Santhanam, E.; Leach, C.; Dawson, C. (1998): Concept mapping: How should it be introduced, and is there evidence for long term benefit? In: *Higher Education* 35 (3), S. 317–328. DOI: 10.1023/A:1003028902215.
- Schleiff, E. (2009): Wie das Kraftwerk in die Zelle kam... Ein Raubfeldzug vor zwei Milliarden Jahren. In: *scinexx*. Online verfügbar unter <https://www.scinexx.de/dossierartikel/wie-das-kraftwerk-in-die-zelle-kam/>, zuletzt geprüft am 22.11.2020.



- Schoenfeld, A. H.; Herrmann, D. J. (1982): Problem perception and knowledge structure in expert and novice mathematical problem solvers. In: *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 8 (5), S. 484–494. DOI: 10.1037/0278-7393.8.5.484.
- Schreiber, W. (2008): Ein Kompetenz-Strukturmodell historischen Denkens. In: *Zeitschrift für Pädagogik* 54 (2).
- Schroeder, C. M.; Scott, T. P.; Tolson, H.; Huang, T.-Yang; Lee, Yi-Hsuan (2007): A meta-analysis of national research. Effects of teaching strategies on student achievement in science in the United States. In: *Journal of Research in Science Teaching* 44 (10), S. 1436–1460. DOI: 10.1002/tea.20212.
- Schumacher, J.; Zabel, J. (2017): Neurobiologie unter Vermittlungsperspektive. Posterpräsentation auf der 200. Internationalen Tagung der FDdB im VBio, 11.-14.09.2017. Universität Halle, 2017.
- Schwab, J. (1964): The structure of the disciplines: Meaning and significance. In: G. W. Ford und L. Pugno (Hg.): *The structure of knowledge and curriculum*. Chicago: Rand McNally, S. 1–30.
- Schwab, J. (1978): Education and the structure of the disciplines. In: I. Westbury und N. G. Wilkof (Hg.): *Science curriculum & liberal education*. Chicago: University of Chicago Press, S. 229–272.
- Schwanewedel, J.; Kremer, K.; Arnold, J. (2013): Veränderlichkeit von Studierendenvorstellungen zum forschenden Lernen. In: *Programmheft GDCP Jahrestagung 2013*, S. 24.
- Schwartz, R. S.; Lederman, N. G.; Crawford, B. A. (2004): Developing Views of Nature of Science in an Authentic Context: An Explicit Approach to Bridging the Gap Between Nature of Science and Scientific Inquiry. In: *Science Teacher Education* 88, S. 610–645.
- Seidel, T.; Reiss, K. (2014): Lerngelegenheiten im Unterricht. In: T. Seidel und A. Krapp (Hg.): *Pädagogische Psychologie*. Mit Online-Materialien. 6., vollständig überarbeitete Auflage, S. 253–276.
- Shulman, L. S. (1986): Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. In: *Educational Researcher* 15 (2), S. 4–14.
- Shulman, L. S. (1987): Knowledge and Teaching: Foundation of the New Reform. In: *Harvard Educational Review* 57 (1), S. 1–22.
- Singer, S. J.; Nicolson, G. L. (1972): The fluid mosaic model of the structure of cell membranes. In: *Science (New York, N.Y.)* 175 (4023), S. 720–731. DOI: 10.1126/science.175.4023.720.
- Spiro, R. J.; Coulson, R. L.; Feltovich, P. J.; Anderson, D. (1988): Cognitive flexibility theory: Advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In: *Proceedings of the tenth annual conference of the Cognitive Science Society*. 17 - 19 August, 1988, Montreal, Quebec, Canada. Hillsdale, NJ: Erlbaum (Program of the ... annual conference of the Cognitive Science Society, 10.1988).
- Steinke, I. (2000): Gütekriterien qualitativer Forschung. In: U. Flick, E. von Kardoff und I. Steinke (Hg.): *Qualitative Forschung. Ein Handbuch*. Frankfurt: Rowohlt Taschenbuch Verlag, S. 319–331.
- Stengel, B. S. (1997): 'Academic discipline' and 'school subject': Contestable curricular concepts. In: *Journal of Curriculum Studies* 29 (5), S. 585–602. DOI: 10.1080/002202797183928.
- Strasburger, E.; Sitte, P. (2002): *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. 35. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akad. Verl. (Spektrum-Lehrbuch).
- Strauss, A. L. (1991): *Grundlagen qualitativer Sozialforschung. Datenanalyse und Theoriebildung in der empirischen soziologischen Forschung*. München: Fink (Übergänge, 10).
- Strike, K. A.; Posner, G. J. (1992): A Revisionist Theory of Conceptual Change. In: R. A. Duschl und R. J. Hamilton (Hg.): *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany: State University of New York Press (SUNY series in science education), S. 147–176.
- Strübe, M.; Tepner, O.; Sumfleth, Elke (2017): Professionswissen und Handeln von Chemielehrkräften mit Blick auf den Experimenteneinsatz. In: H. Fischler und E. Sumfleth (Hg.): *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften der Chemie und Physik*. Berlin: Logos Verlag (Studien zum Physik- und Chemielernen, 200), S. 135–156.

- Tanner, D.; Tanner, L. (2007): Curriculum development. Theory into practice. 4th ed. Upper Saddle River, N.J.: Pearson Merrill/Prentice Hall.
- Terhart, E. (2011): Lehrerberuf und Professionalität. Gewandeltes Begriffsverständnis - neue Herausforderungen. In: *Zeitschrift für Pädagogik, Beiheft* 57, S. 202–224.
- Trapmann, Sabrina (2008): Mehrdimensionale Studienerfolgsprognose. Die Bedeutung kognitiver, temperamentsbedingter und motivationaler Prädiktoren für verschiedene Kriterien des Studienerfolgs. Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 2007. Berlin: Logos-Verl.
- Tyler, R. W. (1950): Basic principles of curriculum and instruction. Chicago, Ill.: University of Chicago Press.
- Universität Potsdam (2013): Fachspezifische Studien- und Prüfungsordnung für das Bachelor- und Masterstudium im Fach Biologie für das Lehramt für die Sekundarstufen I und II (allgemeinbildende Fächer) an der Universität Potsdam. Amtliche Bekanntmachungen. Universität Potsdam, Potsdam.
- van den Akker, J. (1999): Principles and Methods of Development Research. In: J. van den Akker, R. M. Branch, K. Gustafson, N. Nieveen und T. Plomp (Hg.): *Design Approaches and Tools in Education and Training*. Dordrecht, Boston: Springer-Science/Kluwer Academic Publishers, S. 1–14.
- van den Akker, J.; Gravemeijer, K.; McKenny, S.; Nieveen, N. (2006a): Introduction to educational design research. In: J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenny und N. Nieveen (Hg.): *Educational design research*. London: Routledge, S. 1–8.
- van den Akker, J.; Gravemeijer, K.; McKenny, S.; Nieveen, N. (Hg.) (2006b): *Educational design research*. London: Routledge.
- Vanides, J.; Yin, Y.; Tomita, M.; Ruiz-Primo, M. A. (2005): Using concept maps in the science classroom. In: *Science Scope* 28 (8), S. 27–31.
- Vereb, G.; Szölloosi, J.; Matkó, J.; Nagy, P.; Farkas, T.; Vigh, L. et al. (2003): Dynamic, yet structured. The cell membrane three decades after the Singer-Nicolson model. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 100 (14), S. 8053–8058. DOI: 10.1073/pnas.1332550100.
- Vogelsang, C. (2014): Validierung eines Instruments zur Erfassung der professionellen Handlungskompetenz von (angehenden) Physiklehrkräften. Zusammenhangsanalysen zwischen Lehrerkompetenz und Lehrerperformanz. Zugl.: Paderborn, Univ., Diss., 2014. Berlin: Logos Berlin (Studien zum Physik- und Chemielernen, 174).
- Vogt, H. (1998): Zusammenhang zwischen Biologieunterricht und Genese von biologieorientiertem Interesse. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 4 (1).
- Wadouh, J. (2007): Vernetzung und kumulatives Lernen im Biologieunterricht der Gymnasialklasse 9. Dissertation. Universität Duisburg-Essen, Duisburg-Essen.
- Wandersee, J. H.; Mintzes, J. J.; Novak, J. D. (1994): Research on Alternative Conceptions in Science. In: G. L. Gabel (Hg.): *Handbook of Research on Science Teaching and Learning: A Project of the National Science Teachers Association*. New York: Simon & Schuster and Prentice Hall International, S. 177–210.
- Watson, J. D.; Crick, F. H. (1953): Molecular structure of nucleic acids; a structure for deoxyribose nucleic acid. In: *Nature* 171 (4356), S. 737–738. DOI: 10.1038/171737a0.
- Weber, U. (Hg.) (2015): Biologie Oberstufe. Gesamtband S II. 3. neubearbeitete Auflage, [Allgemeine Ausgabe]. Berlin: Cornelsen.
- Wegner, C.; Borgmann, A. (2012): Das Denkmodell "Cell City". In: *Unterricht Biologie* 380 (36), S. 42–49.
- Wild, K. P.; Schiefele, U. (1994): Lernstrategien im Studium: Ergebnisse zur Faktorenstruktur und Reliabilität eines neuen Fragebogens. In: *Zeitschrift für Differentielle und Diagnostische Psychologie* 15 (4), S. 185–200.

Wilhelm, M. (2019): Wucht oder Wirkung. Bildungsforschung und Lehrentwicklung an Beispielen der Naturwissenschaftsdidaktik. In: E. Christophel, M. Hemmer, F. Korneck, T. Leuders und P. Labudde (Hg.): Fachdidaktische Forschung zur Lehrerbildung. 1. Auflage. Münster: Waxmann (Fachdidaktische Forschungen, 11), S. 35–49.

Windschitl, M. (2004): What types of knowledge do teachers use to engage learners in “doing science”? Rethinking the continuum of preparation and professional development for secondary science educators. In: *A paper commissioned by the National Academy of Sciences*.

Woehlecke, S.; Massolt, J.; Goral, J.; Hassan-Yavuz S.; Seider, J.; Borowski, A. et al. (2017): Das erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext als fachübergreifendes Konstrukt und die Anwendung im universitären Lehramtsstudium. In: *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung* 35 (3), S. 413–426.

Woitkowski, D.; Riese, J.; Reinhold, P. (2011): Modellierung fachwissenschaftlicher Kompetenz angehender Physiklehrkräfte. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 17, S. 289–313.

Woitkowski, D.; Riese, J.; Reinhold, P. (2012): Messung des Fachwissens von Physikstudenten. Erste Ergebnisse einer Pilotstudie. Universität Paderborn, Paderborn. AG Didaktik der Physik.

Wolf, N. (2014): Subjektive Theorien zum Lerngegenstand „Nachhaltigkeit“ - Bedingungen und Möglichkeiten zur Förderung eines nachhaltigen Handelns im Biologieunterricht. Dissertation. Technische Universität Dortmund, Dortmund.

Zimbardo, P. G.; Gerrig, R. J.; Graf, R. (2007): Psychologie. 16., aktualisierte Aufl., [Nachdr.]. München: Pearson-Studium (ps Psychologie).



## 22 Anhang

### I. Material zur Lehrveranstaltung

#### I.a) Prätest

Liebe Seminar-Teilnehmer\*innen,

das Ausfüllen des folgenden Fragebogens beruht auf Freiwilligkeit. Eine Nichtteilnahme hat keine Konsequenzen. Die Auswertung erfolgt pseudonymisiert. Merkmale, über die ein Personenbezug hergestellt werden könnte werden nach Abschluss der Studie gelöscht. Alle erhobenen Daten werden ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet. Es erfolgt keine Weitergabe personenbezogener Daten an Dritte. Sie haben das Recht, jederzeit Auskunft über die zu ihrer Person verarbeiteten Daten verlangen zu können.

Sie erhalten einen Fragebogen zu Ihren persönlichen Ansichten über das Fachstudium Biologie und Ihren Überzeugungen zum Lehrerberuf. Bitte füllen Sie diesen ehrlich aus.

Der darauf folgende Fragebogen beinhaltet Aufgaben zu Ihrem zellbiologischen Fachwissen.

Die Fragen liegen dabei in unterschiedlichen Formaten vor:

Zu den Multiple Choice Fragen:

Es ist immer eine Antwort richtig.

Zu den offenen Aufgaben:

Bitte in kurzen Sätzen oder zumindest zusammenhängenden Stichpunkten antworten. Wenn nur nach einem Begriff gefragt ist, bitte nur diesen nennen.

Zu der Concept Map:

Erläuterungen durch Seminarleitung beachten.

Bitte markieren Sie bei Fragen, bei denen Sie sich unsicher sind, oder die Sie nicht beantworten können, die für Sie unklaren Begriffe in der Fragestellung.

Markieren Sie außerdem Aussagen, bei denen Sie sich unsicher sind in ihren eigenen Antworten (auch wenn Sie geraten haben).

Die Fragen müssen der Reihe nach beantwortet werden, ein Zurückblättern ist nicht möglich.

## Erhebungsbogen über Ihre Einstellungen zum Studium und Lehrerberuf und ihr zellbiologisches Fachwissen

Die Teilnahme ist freiwillig. Der Fragebogen wird anonym ausgewertet.

### Persönlicher Code:

Ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter (z.B. MAria, BEate, CHristine...):

Monatstag des eigenen Geburtstags (z.B. 12.03.1994, 05.06.1995...):

Letzten beiden Buchstaben des Geburtsort (z.B. CottbUS, PotsdAM, FrankfuRT,...):

### Angaben zur Person:

Alter:

Geschlecht:

Abiturnote:

Fachsemester:

Hochschulsemester:

Fächerkombination:

Unterrichtserfahrung Biologie:  Nein  Ja; wie lange in welcher Form (z.B. Vertretungslehrer, Nachhilfe)

VL Zellbiologie in welchem Semester gehört (z.B. SoSe 2017):

Modulnote „Molekulare und zelluläre Biologie“:

Nr	Zufriedenheit	sehr unzufrieden	eher unzufrieden	teils/teils	eher zufrieden	sehr zufrieden
Z1	Wie zufrieden sind Sie mit der <u>fachwissenschaftlichen</u> Ausbildung in der Biologie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nr	Einstellungen Ich denke, zu einer guten Lehrperson wird man...	trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	teils/teils	trifft eher zu	trifft völlig zu
E1	... durch das Hochschulstudium	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2	... durch praktische Erfahrung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E3	...geboren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E4	...indem man aus Erfolgen und Misserfolgen im eigenen Unterricht lernt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E6	...indem man sich an Vorbildern aus der eigenen Schulzeit orientiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E7	...indem man sich an Fachlehrern im hospitierten Unterricht orientiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E9	...indem man ein sehr hohes Fachwissen in seinen Fächern hat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

EFSt 1 - Bitte vervollständigen Sie den Satz:	
Dass ich mit Fachstudierenden gemeinsam studiere, bedeutet für mich...	

EFSt 3 - Nehmen Sie eine Ungleichbehandlung von Lehramts- und Fachstudierenden in der Biologie wahr?
Wenn ja, habe sie ein konkretes Beispiel dafür?

Nr	Einschätzung zum Fachwissen	Niedrig/er	Eher niedriger	Gleich/Mittel	Eher höher	Hoch/höher
F1	Denken Sie, dass Sie <b>im Vergleich</b> zum Durchschnitt ihrer Kommilitonen ein <b>höheres oder niedrigeres biologisches Fachwissen</b> aufweisen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2	Wie hoch schätzen Sie ihr <b>zellbiologisches Fachwissen</b> im Vergleich zu ihrem Wissen in anderen Fachgebieten der Biologie ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

F3 - Wie schätzen Sie ihr <u>zellbiologisches</u> Fachwissen ein?	Sehr niedrig	eher niedrig	angemessen	eher hoch	sehr hoch
a) <b>Schulisches Wissen auf Abiturniveau</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) <b>Klausurrelevantes Universitäres Wissen</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

F4 - Welchen Zeitaufwand haben Sie für das Lernen in der Zellbiologie außerhalb der Vorlesung aufgewendet	
Für regelmäßige Vor und Nachbearbeitung: <input type="checkbox"/> kein Zeitaufwand  <input type="checkbox"/> Zeitaufwand im Rahmen von ca. ___ h pro Woche	Für Klausurvorbereitung: <input type="checkbox"/> kein Zeitaufwand  <input type="checkbox"/> Zeitaufwand im Rahmen von ca. ___ Arbeitstagen

F5 - Wie schätzen Sie die <b>Relevanz</b> des universitär vermittelten Fachwissens für die Ausübung ihres späteren Berufs ein?

Nr	Interesse an der Biologie, die Sie in der <u>Universität</u> kennengelernt haben	Stimmt <u>nicht</u>	Stimmt <u>kaum</u>	Stimmt <u>eher</u>	Stimmt
IUW1	Wenn ich mich mit Biologie beschäftige, vergesse ich manchmal alles um mich herum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW2	Biologie ist mir persönlich wichtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW3	Wenn ich in der Biologie etwas Neues dazulernen kann, bin ich bereit auch meine Freizeit dafür zu verwenden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW4	Ich bin von der Biologie an der Hochschule begeistert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW5	Ich finde die Biologie an der Uni spannend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW6	Ich finde die Auseinandersetzung mit der <u>Zellbiologie</u> an der Uni macht Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW7	Die Auseinandersetzung mit <u>Zellbiologie</u> an der Uni halte ich für wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Interesse an der Biologie die Sie in der <u>Schulzeit</u> kennengelernt haben				
ISW1	Wenn ich mich mit Biologie beschäftige, vergesse ich manchmal alles um mich herum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW2	Biologie ist mir persönlich wichtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW3	Wenn ich bezüglich der Schulbiologie etwas Neues dazulernen kann, bin ich bereit auch meine Freizeit dafür zu verwenden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW4	Ich bin von der Biologie, die in der Schule vermittelt wird, begeistert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW5	Ich finde die Biologie, die in der Schule vermittelt wird, spannend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW6	Ich finde die Auseinandersetzung mit der <u>Zellbiologie</u> in der Schule machte Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW7	Die Auseinandersetzung mit <u>Zellbiologie</u> in der Schule halte ich für wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

EUW 1 - Was sollte Ihrer Meinung nach, in der fachwissenschaftlich Ausbildung gekürzt, bzw. ergänzt werden, damit sich das von Ihnen als wichtig betrachtete Fachwissen bestmöglich entwickeln kann?

Gekürzt werden sollte:	Ergänzt werden sollte:



Nr.	Lernstrategien	Trifft gar nicht zu	Trifft nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft zu	Trifft voll zu
LIST_O_1	Ich fertige Tabellen, Mind Maps oder Schaubilder an, um den Stoff besser strukturiert vorliegen zu haben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_O_2	Ich mache mir kurze Zusammenfassungen der wichtigsten Inhalte als Gedankenstütze.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_O_7	Für größere Stoffmengen fertige ich eine Gliederung an, die die Struktur des Stoffs am besten wiedergibt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_Z_10	Ich versuche, Beziehungen zu den Inhalten verwandter Fächer bzw. Lehrveranstaltungen herzustellen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_Z_11	Zu neuen Konzepten stelle ich mir praktische Beispiele vor.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_Z_14	Ich versuche in Gedanken, das Gelernte mit dem zu verbinden, was ich schon darüber weiß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_Z_17	Ich überlege mir, ob der Lernstoff auch für mein späteres Berufsleben von Bedeutung ist.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_KP_18	Ich frage mich, ob die Texte/die Behauptungen, die ich gerade durcharbeite, wirklich überzeugend sind.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_W_32	Ich lerne den Lernstoff anhand von Skripten oder anderen Aufzeichnungen möglichst auswendig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_A_38	Gewöhnlich dauert es lange, bis ich mich dazu entschließe, mit dem Lernen anzufangen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_A_40	Ich nehme mir mehr Zeit zum Lernen als die meisten meiner StudienkollegInnen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_L_62	Ich suche nach weiterführender Literatur, wenn mir bestimmte Inhalte noch nicht ganz klar sind	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_P_68	Ich formuliere Lernziele, an denen ich dann mein Lernen ausrichte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_P_70	Ich plane mein Vorgehen beim Lernen <u>nicht</u> .	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIST_K_74	Ich stelle mir Fragen zum Stoff, um zu überprüfen, ob ich alles verstanden habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Erhebungsbogen zu Ihrem zellbiologischen Fachwissen

2\_SW\_TP

Welches der folgenden Gebilde kommt sowohl in Tier- und höheren Pflanzenzellen vor?

- Chloroplast
- Zellsaftvakuole
- Mitochondrium
- Centriole

4\_SW\_SeWe

Bauchspeicheldrüsenzellen (Pankreaszellen) bauen radioaktiv markierte Aminosäuren in Proteine ein. Diese Markierung neu synthetisierter Proteine versetzt den Forscher in die Lage, ihre Lokalisation oder ihre Bewegung in der Zelle zu verfolgen.

In diesem Bsp. wollen wir ein von der Bauchspeicheldrüsenzelle ausgeschüttetes Enzym verfolgen. Welcher der aufgezeigten ist der für das Enzym wahrscheinlichste Transportweg durch die Zelle?

- ER → Golgi → Zellkern
- Golgi → ER → Lysosom → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren
- ER → Golgi → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren
- ER → Lysosomen → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren

7\_SW\_zGr

Zellen können unterschiedlichste Formen und Größen einnehmen. Wodurch wird die Zellgröße hauptsächlich limitiert?

- die Konzentration von Wasser im Cytoplasma.
- den Energiebedarf.
- das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen.
- die Zusammensetzung der Plasmamembran.

Begründen Sie Ihre Antwort.


53_SW_LipZus
<p>Machen Sie eine Voraussage, welcher der folgenden Organismen den höchsten Prozentsatz an ungesättigten Fettsäuren in seinen Membranen hat.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Wüstenschlange</li> <li><input type="checkbox"/> Polarbär</li> <li><input type="checkbox"/> Thermophiles Bakterium, das in heißen Quellen bei 100 °C lebt.</li> <li><input type="checkbox"/> Antarktische Krebstiere</li> </ul> <p>Begründen Sie Ihre Antwort.</p>
<div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div>

50_vSW_Amph
<p>Erläutern Sie inwiefern die Eigenschaft amphiphiler Moleküle (z.B. Phospholipide), sich notwendigerweise zusammenzulagern, entscheidend für die Funktion lebender Zellen ist.</p>
<div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div>

13_vSW_EMS
<p>Eine Mitstudentin erstellt eine Übersicht über Kompartimente der eukaryotischen Zelle und ordnet dabei Mitochondrien und Chloroplasten als Komponenten des Endomembransystems ein.</p> <p>Nennen Sie Argumente, die dagegen sprechen.</p>
<div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div> <div style="border: 1px solid black; height: 20px;"></div>

20\_vSW\_GEF

Ein GEF (Guanosine-triphosphate-Exchange-Factor) bewirkt, dass bei einem G-Protein ein gebundenes GDP gegen GTP ausgetauscht wird. Das G-Protein wird somit aktiviert und wirkt auf den Effektor. GAP (GTPase-activating protein) hingegen aktiviert die GTPase Aktivität, wodurch GTP zu GDP hydrolysiert.

Beschreiben Sie das zugrundeliegende Prinzip der Beziehung von GEF zu GAP.


Nennen sie ein weiteres selbst gewähltes Beispiel für das zu Grunde liegende Prinzip.


31\_vSW\_GAM

Der Golgi-Apparat besteht aus mehreren meist flachen Hohlräumen, die als Zisternen bezeichnet werden. Die Hauptfunktion des Golgi-Apparats ist die Modifikation, Sortierung und Verpackung von Proteinen und Lipiden zur Sekretion aus der Zelle oder zum Transport zu anderen Organellen. Bezüglich des Stofftransports durch den Golgi-Apparat werden zwei Modelle diskutiert - das Modell des vesikulären Transports und das Zisternenreifungsmodell.

Erläutern Sie die Modelle und beschreiben Sie die wesentlichen Unterschiede.


34\_vSW\_Kdyn

Eine häufig in Lehrwerken auftauchende Aussage lautet: *Die Kompartimentierung der eukaryotischen Zelle ist dynamisch.*

Beschreiben Sie, welche Prinzipien und Vorgänge in der Zelle dieser Aussage zugrunde liegen?


52\_vSW\_versMem

Biomembranen sind charakterisiert durch eine Lipiddoppelschicht. Diese Lipiddoppelschicht zeichnet sich jedoch durch eine Variabilität in ihrer Zusammensetzung in verschiedenen Kompartimenten aus, um verschiedenen Funktionen zu gewährleisten.

Beschreiben Sie mindestens zwei Beispiele für eine solche Variabilität der Membranstruktur in der eukaryotischen Zelle.


35\_vSW\_KomM

Häufig findet sich als Erklärung für das Konzept der Kompartimentierung folgende Kompartimentierungsregel: *Kompartimente sind membranumschlossene Reaktionsräume. Die Membran trennt dabei einen plasmatischen von einem nichtplasmatischen Raum.*

Vereinfachend wird der Begriff Kompartiment oft mit dem Begriff Organell gleichgesetzt.

Erläutern Sie, wie dies, bezogen auf den Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten zu Verständnisschwierigkeiten führen könnte.


54\_vSW\_MemKH

Die Doppellipidschicht der inneren und äußeren Kernmembran ist an den Kernporen vereinigt und bildet daher eine zusammenhängende Membranfläche. Auf Grundlage dessen meint einer Ihrer Mitstudenten folgendes: „Da Membranen zusammenhängende Flüssigkeiten sind, sollten die Membranproteine frei zwischen äußerer und innerer Kernmembran diffundieren können. Die Proteinzusammensetzung der inneren und äußeren Membran müsste daher gleich sein.“

Ihnen ist jedoch bekannt, dass tatsächlich jede der beiden Kernmembranen eine andere Proteinzusammensetzung aufweist, die ihre unterschiedlichen Funktionen widerspiegelt.

Wie lässt sich dieses scheinbare Paradoxon erklären?


37\_vSW\_CSB

Beschreiben Sie anhand der Funktionen warum der Begriff „Cytoskelett“ eventuell zu Fehlvorstellungen führen kann.


38\_vSW\_ZKK

In eukaryotischen Zellen liegt der Zellkern als Kompartiment vor. Die Funktion prokaryotischer Zellen ist allerdings nicht an einen echten Zellkern mit Kernmembranen gebunden.

Erläutern Sie die Konsequenzen dieses bedeutenden strukturellen Unterschieds.


<b>51_UW_ASSequ</b>
<p>Die Polypeptidkette eines Proteins, aus dem eine <i>tight junction</i> unter anderem besteht, durchquert die Membran vier Mal. Sie hat zwei extrazelluläre Schleifen und eine cytoplasmatische Schleife, sowie ein kurzes N- und C-terminales Stück im Cytoplasma.</p>
<p>Wie würden Sie bezüglich der Abfolge der Aminosäuresequenz dieses Proteins hinsichtlich ihrer Hydrophobizität beschreiben</p>

<b>43_UW_TMP</b>
<p>Nennen Sie die Sekundärstrukturen von Proteinen, die bei Transmembranproteinen innerhalb eines Membrandurchgangs auftreten.</p>
<p>Nennen Sie jeweils ein Beispiel für einen solchen Membrandurchgang.</p>

Erstellen Sie eine Concept Map zum Thema: Struktur und Funktion der Biomembran.

Fokusfrage: Wie können die Eigenschaften und die daraus folgenden Funktionen der Biomembran anhand ihres Aufbaus erklärt werden?

- Bringen Sie dabei sowohl Inhalte, die Sie sich in der Zeit des Studiums angeeignet haben, als auch die Inhalte, die Ihnen noch aus der Schule bekannt sind, ein.
- Berücksichtigen Sie die für die Struktur und Funktion der Biomembran relevanten Konzepte, Prinzipien und Modelle.
- Geben Sie, wenn möglich, Beispiele für die von Ihnen gewählten Begriffe und Verbindungen an.
- Prüfen Sie, inwiefern die die erstellte C-Map die Fokusfrage beantwortet.

**Geschafft - Vielen Dank für die Teilnahme 😊**



## I.b) Arbeitsblatt: Aufgabenstellung zur kooperativen Erstellung einer Concept Map

### Concept Map (C-Map)

Eine Concept Map ist ein Begriffsnetz, das aus Begriffen/Konzepten besteht, zwischen denen Zusammenhänge in Form von beschrifteten Pfeilen dargestellt werden.

Concept Mapping dient dazu Lerninhalte kurz und übersichtlich darzustellen, indem man die Inhalte auf das Wesentliche verkürzt und Zusammenhänge grafisch darstellt

Vermeidet bei der Erstellung vollständige Sätze in Kästen oder an Pfeilen. Pfeile werden mit Verben und/oder Präpositionen beschriftet.

Verbindet pro Pfeil immer nur zwei Kästen.

### Aufgabe

Erstellt im Team eine Concept Map auf einem für euch höchstmöglichen Niveau zum Thema:

#### „Struktur und Funktion der Biomembran“

**Fokusfrage:** Wie können die Eigenschaften und die daraus folgenden Funktionen der Biomembran anhand ihres Aufbaus erklärt werden?

- Bringt dabei sowohl Inhalte, die ihr euch in der Zeit des Studiums angeeignet haben, als auch die Inhalte, die euch noch aus der Schule bekannt sind, ein.
- Berücksichtigt die für die Struktur und Funktion der Biomembran relevanten Konzepte, Prinzipien und Modelle. Beachtet dabei, dass Struktur und Funktion sich gegenseitig bedingen und nicht voneinander getrennt werden sollten.
- Gebt, wenn möglich, Beispiele für die von euch gewählten Begriffe/Konzepte und Verbindungen an (mündlich).
- Prüft, inwiefern die die erstellte C-Map die Fokusfrage beantwortet

### **Vorgehen:**

3. Sammelt vorerst Begriffe/Konzepte unter Zuhilfenahme eures eigenen Fachwissens und eurer bereits erstellten C-Maps.
4. Wenn ihr damit fertig seid, dann nehmt ihr die von der Seminarleitung gestellten zusätzlichen Begriffe und versucht sie mit euren Begriffen in einer Concept Map in einen Zusammenhang zu bringen
  - versucht immer erst euer eigenes Fachwissen zu nutzen und schlagt dann erst im Reader nach, bei welchen Inhalten und Zusammenhängen ihr euch unsicher seid
  - verbessert eure C-Map und markiert die Verbesserungen
  - Markiert danach, woher euch diese Inhalte und Zusammenhänge noch bekannt sind

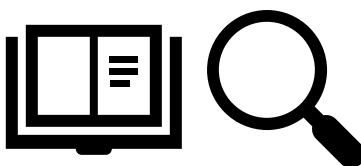
- ✗ Uni
- ✗ Schule
- ✗ Verbesserung

**Zeitlimit:** 50 min

Bitte auf den C-Maps die jeweiligen Verfasser (klein oben rechts) vermerken mit dem persönlichen Code

Ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter (z.B. MAria, BEate, CHristine...): \_\_ \_\_  
Monatstag des eigenen Geburtstags (z.B. 12.03.1994, 05.06.1995...) \_\_ \_\_  
Letzten beiden Buchstaben des Geburtsort (z.B. CottbUS, PotsdAM, FrankfuRT,...) \_\_ \_\_

## I.c) Arbeitsblatt: Aufgabenstellung zur Dekonstruktion eines Schulbuchtextes



### Aufgabe

Analysiert die euch vorliegenden Schulbuchtexte hinsichtlich der fachlichen Qualität.

#### **Leitfragen für die kritische Analyse:**

- Welches Vorwissen benötigen Leser\*innen, um Begriffe/Textabschnitte zu verstehen?
- Welche „Reduktionen“ könnt ihr im Text identifizieren?
- Welche Folgen haben die „Reduktionen“ im Text für die weitere Auseinandersetzung mit dem Thema für die Leser\*innen? Wählt mindestens zwei „Reduktion“ im Text aus und erläutert die Folgen für die Leser\*innen und deren Verständnis.
- Welche Konzepte werden (explizit oder implizit) angesprochen? Inwiefern wird die Relevanz dieser Konzepte deutlich?

#### Konzepte

- Konzepte haben einen höheren Abstraktionsgrad als der zu lernende Inhalt
- Konzepte haben eine ideale Größe zum Verstehen (3s ~15 Silben)
- Konzepte sind Sätze zum Merken von Bedeutungen
- Konzepte betreffen das Verstehen
- Konzepte setzen Begriffe in Beziehung
- Konzepte sind die einfachste Form der gedanklichen Strukturierung eines Sachverhalts
- Konzepte sind Prüfsteine für das Verständnis

Vgl. Gropengießer, Harald; Beier, Maria; Wolter, Jörg (2010): Biologie. Lehrerbuch Oberstufe. 1. Auflage. Hg. v. Jürgen Markl und Sven Gemballa. Stuttgart, Leipzig: Ernst Klett Verlag.

Bitte auf den Blättern die jeweiligen Verfasser vermerken mit dem persönlichen Code

Ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter (z.B. MAria, BEate, CHristine...): \_\_ \_\_  
 Montagstag des eigenen Geburtstags (z.B. 12.03.1994, 05.06.1995...) \_\_ \_\_  
 Letzten beiden Buchstaben des Geburtsort (z.B. CottbUS, PotsdAM, FrankfuRT,...) \_\_ \_\_

## I.d) Arbeitsblatt: Aufgabenstellung zum Verfassen einer konzeptorientierten Sachanalyse

### Die Sachanalyse

- ist eine fachwissenschaftliche Beschreibung des Unterrichtsgegenstandes
- dient der Aufarbeitung und Erweiterung des Kenntnisstands des Lehrenden und der Überprüfung eigener Fachkompetenz
- ist vergleichbar mit einer fachlichen Abhandlung nach Art eines Lexikonartikels (vgl. Gonschorek/ Schneider 2007, S. 283).
- konkrete Überlegungen zur Unterrichtsstunde und Bezüge zum Wissen der Lernenden werden **nicht (!)** in die Sachanalyse integriert

### Ziele der Sachanalyse

- Struktur des Themas herausarbeiten
- Beziehungen zwischen Elementen und Teilgebieten herzustellen
- Inhalt in größere Zusammenhänge einordnen

### Aufgabe:

#### **Erstellt eine Sachanalyse zum Thema „Stofftransport in der Zelle: Endo- und Exocytose“ (1-1,5 Seiten)**

##### Orientiert euch dabei an folgenden Leitfragen:

- Welches Vorwissen sollte vorhanden sein?
  - Welche Konzepte sind erkennbar/ herauszuarbeiten?
  - Welche elementaren Probleme, Begriffe und Zusammenhänge enthält das Thema?
  - Welche Verbindungen zeigen sich zu anderen Themen?
  - Welche Bedeutung hat das Thema in der Fachwissenschaft?
- Kommentiert in der vorgesehenen Spalte auf welche Leitfrage ihr euch an der jeweiligen Stelle bezieht. Formuliert entsprechende Konzepte, sofern ihr es im Fließtext nicht getan habt.
  - Kommentiert ebenfalls, wenn fachliche Unsicherheiten oder Unsicherheiten beim Formulieren auftreten.
  - Gebt die von euch verwendeten Quellen in der vorgesehenen Spalte an.

Bitte auf den Blättern die jeweiligen Verfasser vermerken mit dem persönlichen Code

Ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter (z.B. MAria, BEate, CHristine...): \_\_ \_\_  
Monatstag des eigenen Geburtstags (z.B. 12.03.1994, 05.06.1995...) \_\_ \_\_  
Letzten beiden Buchstaben des Geburtsort (z.B. CottbUS, PotsdAM, FrankfuRT,...) \_\_ \_\_

## I.e) Arbeitsblatt zur Erstellung eines konzeptorientierten Lerntextes

### Fiktive Sequenzplanung mit Didaktischen Leitfragen (11x45min)

*Zelltheorie: Wie entsteht aus einer zufälligen Beobachtung eine wissenschaftliche Theorie?*

- Zelltheorie
- Organismus, Organ, Gewebe, Zelle

*Was sind pro- und eukaryotische Zellen und worin unterscheiden sie sich grundlegend?*

- Aufbau pro- und eukaryotischer Zellen

*Wie ist eine Zelle organisiert und wie gelingt es der Zelle so viele verschiedene Leistungen zu erbringen?*

- Aufbau und Funktion von Zellorganellen
- Membranaufbau
- Zellkompartimentierung
- Aktiver und passiver Stofftransport durch die Membran
- **Stofftransport in der Zelle: Endo- und Exocytose**

*Zelle, Gewebe, Organe, Organismen – Welche Unterschiede bestehen zwischen Zellen, die verschiedene Funktionen übernehmen?*

- Zelldifferenzierung

### Aufgabe:

- **Formuliert einen konzeptorientierten, fachlichen Lerntext/Informationstext zum Thema „Stofftransport in der Zelle – Endo- und Exocytose“**

Zielgruppe: Klassenstufe 11      Umfang: ½ - 1 Seite

Orientiert euch hierbei an der fiktiven Sequenzplanung

- **Kommentiert in der vorgesehenen Spalte:**
  - Welches **Vorwissen** setzt ihr für die bestimmten Begriffe/Textabschnitte voraus?
  - Welche **Konzepte** sollen durch bestimmte Abschnitte deutlich werden?
  - Wo werden von euch bewusst bestimmte Fachwissensinhalte „**reduziert**“? Begründet eure Entscheidung in drei Fällen.
  - Wo gibt es **Ansatzmöglichkeiten für den weiteren Aufbau** von Fachwissen?

Bitte auf den Blättern die jeweiligen Verfasser (klein oben rechts) vermerken mit dem persönlichen Code

Ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter (z.B. MAria, BEate, CHristine...): \_\_ \_\_  
 Monatstag des eigenen Geburtstags (z.B. 12.03.1994, 05.06.1995...) \_\_ \_\_  
 Letzten beiden Buchstaben des Geburtsort (z.B. CottbUS, PotsdAM, FrankfuRT,...) \_\_ \_\_

## I.f) Laut Denken Studie (Posttest) – Material für die Versuchsleitung

### MATERIAL – VERSUCHSLEITUNG

Die Aufgabe der Versuchsleitung besteht darin:

1. den ersten Teil des Fragebogens als halbstrukturiertes Interview durchzuführen. Wenn der Eindruck besteht, dass die Frage und Antwort nicht zusammenpassen, sollte noch einmal genauer nachgefragt werden. Es kann auch nach Begründungen oder Beispielen gefragt werden. Besonders wichtig ist die Frage nach der Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens.
2. die Studienteilnehmer immer zum „lauten Denken“ aufzufordern. Sie sollen alles äußern, was ihnen zur Beantwortung der Frage in den Sinn kommt. Aussagen/Fragen wie „beschreib mal was du grade denkst“, „wo bist du gerade gedanklich?“ „was denkst du gerade?“ oder „bitte laut denken“ sind dabei hilfreich.

Den Teilnehmern darf weder vor noch während der Datenaufnahme keinerlei fachliche Hilfestellung gegeben werden!

3. die störungsfreie Datenaufnahme sicherzustellen (Zettel an die Tür). Die Audioaufnahmegeräte werden über den Powerknopf an der Seite eingeschaltet. Über den Rec-Knopf startet die Aufnahme. Über den Pause-Knopf pausiert die Aufnahme. Über die erneute Betätigung des Rec-Knopfes wird die Aufnahme fortgesetzt (dies ist wichtig, falls die Teilnehmer eine Pause haben wollen). Wenn die Stop-Taste gedrückt wird, wird die Aufnahme beendet. Anschließend wird das Gerät über den Power-Knopf wieder ausgeschaltet.
4. sicherzustellen, dass sich die Teilnehmer in die Liste der Probanden (mit IBAN) eintragen.

**Zu Beginn der Studie wird folgender Text verlesen und sich anschließend nach offenen Fragen erkundigt:**

*„ das Ausfüllen des folgenden Fragebogens beruht auf Freiwilligkeit. Die Auswertung erfolgt anonym.*

*Sie erhalten einen Fragebogen zu Ihren persönlichen Ansichten über das Fachstudium Biologie und Ihren Überzeugungen zum Lehrerberuf. Bitte füllen Sie diesen ehrlich aus. Bei den offenen Fragen genügt es, wenn sie diese im Laufe des Interviews mündlich beantworten. Die Fragen zum Ankreuzen können Sie ausfüllen ohne sich mündlich zu äußern.*

*Der darauf folgende Fragebogen beinhaltet Fragen zu Ihrem zellbiologischen Fachwissen. Beim Bearbeiten der Aufgaben werden sie aufgefordert „**laut zu denken**“. Das heißt Sie äußern alles, was Ihnen zur Beantwortung der Frage in den Sinn kommt (auch mögliche Unsicherheiten oder wenn Sie raten).*

*Bitte schreiben Sie trotzdem die Antwort.*

*Die Fragen liegen dabei in unterschiedlichen Formaten vor:*

*Zu den Multiple Choice Fragen:*

*Es ist immer eine Antwort richtig.*

*Zu den offenen Aufgaben:*

*Bitte antworten Sie in Sätzen oder zumindest in zusammenhängenden Stichpunkten. Wenn nur nach einem Begriff gefragt ist, bitte nur diesen nennen.*

*Die Fragen müssen der Reihe nach beantwortet werden, ein Zurückblättern ist nicht möglich.“*

## Erhebungsbogen über Ihre Einstellungen zum Studium und Lehrerberuf und ihr zellbiologisches Fachwissen

Die Teilnahme ist freiwillig. Der Fragebogen wird anonym ausgewertet.

### Persönlicher Code:

Ersten beiden Buchstaben des Vornamens der Mutter (z.B. MAria, BEate, CHristine...):

Monatstag des eigenen Geburtstags (z.B. 12.03.1994, 05.06.1995...):

Letzten beiden Buchstaben des Geburtsort (z.B. CottbUS, PotsdAM, FrankfuRT,...):

### Angaben zur Person:

Unterrichtserfahrung Biologie:  Nein  Ja; wie lange in welcher Form (z.B. Vertretungslehrer, Nachhilfe)

Nr	Zufriedenheit	sehr unzufrieden	eher unzufrieden	teils/teils	eher zufrieden	sehr zufrieden
Z1	Wie zufrieden sind Sie mit der <u>fachwissenschaftlichen</u> Ausbildung in der Biologie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Nr	Einstellungen Ich denke, zu einer guten Lehrperson wird man...	trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	teils/teils	trifft eher zu	trifft völlig zu
E1	... durch das Hochschulstudium	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E2	... durch praktische Erfahrung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E3	...geboren	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E4	...indem man aus Erfolgen und Misserfolgen im eigenen Unterricht lernt	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E6	...indem man sich an Vorbildern aus der eigenen Schulzeit orientiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E7	...indem man sich an Fachlehrern im hospitierten Unterricht orientiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
E9	...indem man ein sehr hohes Fachwissen in seinen Fächern hat	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

EFSt 1 - Bitte vervollständigen Sie den Satz:

Dass ich mit Fachstudierenden gemeinsam studiere, bedeutet für mich...

EFSt 3 -

Nehmen Sie eine Ungleichbehandlung von Lehramts- und Fachstudierenden in der Biologie wahr?

Wenn ja, habe sie ein konkretes Beispiel dafür?

Nr	Einschätzung zum Fachwissen	Niedrig/er	Eher niedriger	Gleich/Mittel	Eher höher	Hoch/höher
F1	Denken Sie, dass Sie <b>im Vergleich</b> zum Durchschnitt ihrer Kommilitonen ein <b>höheres oder niedrigeres biologisches Fachwissen</b> aufweisen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
F2	Wie hoch schätzen Sie ihr <b>zellbiologisches Fachwissen</b> im Vergleich zu ihrem Wissen in anderen Fachgebieten der Biologie ein?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

F3 - Wie schätzen Sie ihr <u>zellbiologisches</u> Fachwissen ein?	Sehr niedrig	eher niedrig	angemessen	eher hoch	sehr hoch
c) <b>Schulisches Wissen auf Abiturniveau</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) <b>Klausurrelevantes Universitäres Wissen</b>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

F6- Inwiefern hat der Besuch der Lehrveranstaltung etwas an Ihrem zellbiologischen Fachwissen geändert? Begründen Sie Ihre Antworten		
An Ihrem schulischen Wissen auf Abiturniveau <small>F6_1</small>	An Ihrem klausurrelevanten universitären Wissen <small>F6_2</small>	An der Fähigkeit das in der Universität gelernte Fachwissen mit dem Schulwissen zu verknüpfen <small>F6_3</small>

F5 - Wie schätzen Sie die **Relevanz** des universitär vermittelten Fachwissens für die Ausübung ihres späteren Berufs?

Nr	Interesse an der Biologie, die Sie in der <b>Universität</b> kennengelernt haben	Stimmt <u>nicht</u>	Stimmt <u>kaum</u>	Stimmt <u>eher</u>	Stimmt
IUW1	Wenn ich mich mit Biologie beschäftige, vergesse ich manchmal alles um mich herum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW2	Biologie ist mir persönlich wichtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW3	Wenn ich in der Biologie etwas Neues dazulernen kann, bin ich bereit auch meine Freizeit dafür zu verwenden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW4	Ich bin von der Biologie an der Hochschule begeistert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW5	Ich finde die Biologie an der Uni spannend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW6	Ich finde die Auseinandersetzung mit der <u>Zellbiologie</u> an der Uni macht Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW7	Die Auseinandersetzung mit <u>Zellbiologie</u> an der Uni halte ich für wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	Interesse an der Biologie die Sie in der <b>Schulzeit</b> kennengelernt haben	
--	---	--

ISW1	Wenn ich mich mit Biologie beschäftige, vergesse ich manchmal alles um mich herum.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW2	Biologie ist mir persönlich wichtig	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW3	Wenn ich bezüglich der Schulbiologie etwas Neues dazulernen kann, bin ich bereit auch meine Freizeit dafür zu verwenden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW4	Ich bin von der Biologie, die in der Schule vermittelt wird, begeistert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ISW5	Ich finde die Biologie, die in der Schule vermittelt wird, spannend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW6	Ich finde die Auseinandersetzung mit der <u>Zellbiologie</u> in der Schule machte Spaß.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
IUW7	Die Auseinandersetzung mit <u>Zellbiologie</u> in der Schule halte ich für wichtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

EUW 1 - Was sollte Ihrer Meinung nach, in der fachwissenschaftlich Ausbildung gekürzt, bzw. ergänzt werden, damit sich das von Ihnen als wichtig betrachtete Fachwissen bestmöglich entwickeln kann?	
Gekürzt werden sollte: EUW 1_1	Ergänzt werden sollte: EUW 1_2

EUW 2 - Was sollte Ihrer Meinung nach, im Hinblick auf zellbiologische Themen gekürzt, bzw. ergänzt werden?	
Gekürzt werden sollte: EUW 2_1	Ergänzt werden sollte: EUW 2_2



## Erhebungsbogen zu Ihrem zellbiologischen Fachwissen

2\_SW\_TP

Welches der folgenden Gebilde kommt sowohl in Tier- und höheren Pflanzenzellen vor?

- Chloroplast
- Zellsaftvakuole
- Mitochondrium
- Centriole

4\_SW\_SeWe

Bauchspeicheldrüsenzellen (Pankreaszellen) bauen radioaktiv markierte Aminosäuren in Proteine ein. Diese Markierung neu synthetisierter Proteine versetzt den Forscher in die Lage, ihre Lokalisation oder ihre Bewegung in der Zelle zu verfolgen.

In diesem Bsp. wollen wir ein von der Bauchspeicheldrüsenzelle ausgeschüttetes Enzym verfolgen. Welcher der aufgezeigten ist der für das Enzym wahrscheinlichste Transportweg durch die Zelle?

- ER → Golgi → Zellkern
- Golgi → ER → Lysosom → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren
- ER → Golgi → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren
- ER → Lysosomen → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren

7\_SW\_zGr

Zellen können unterschiedlichste Formen und Größen einnehmen.

Wodurch wird die Zellgröße hauptsächlich limitiert?

- die Konzentration von Wasser im Cytoplasma.
- den Energiebedarf.
- das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen.
- die Zusammensetzung der Plasmamembran.

**Begründen Sie ihre Antwort.**

Das Oberflächen-Volumen-Verhältnis begrenzt die Größe einer Zelle. Damit eine Zelle funktionsfähig bleibt, darf ihre Oberfläche im Verhältnis zum Volumen nicht zu klein sein. Die Oberfläche begrenzt die Nährstoffmenge, die vom Außenmilieu in die Zelle gelangt, gleichzeitig limitiert sie auch die Menge der abgegebenen Abfallprodukte. Der untere Grenzwert ist dahingehend begrenzt, dass die Zellbestandteile (Zellkern, Zellorganellen) ein bestimmtes Volumen einnehmen. Der obere Grenzwert wird durch die Diffusionswege, bzw. die geringe Diffusionsgeschwindigkeit bei größeren Volumen im Vergleich zur geringeren Oberfläche, begrenzt.

53\_SW\_LipZus

Machen Sie eine Voraussage, welcher der folgenden Organismen den höchsten Prozentsatz an ungesättigten Fettsäuren in seinen Membranen hat. Erklären Sie ihre Antwort.

- Wüstenschlange
- Polarbär
- Thermophiles Bakterium, das in heißen Quellen bei 100 °C lebt.
- Antarktische Krebstiere

Bei niedrigeren Temperaturen erstarren gesättigte Fettsäuren schneller als ungesättigte.

Antarktische Fische leben bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts und sind Kaltblüter.

Aufgrund eines hohen Anteils von ungesättigten Phospholipiden bleiben ihre Membranen auch bei diesen Temperaturen flüssig.

Der Polarbär hält als Säugetier im Gegensatz zum antarktischen Fisch seine Körpertemperatur konstant.

50\_vSW\_Amph

Erläutern Sie inwiefern die Eigenschaft amphiphiler Moleküle (z.B. Phospholipide), sich notwendigerweise zusammenzulagern, entscheidend für die Funktion lebender Zellen ist.

- In wässriger Umgebung lagern sich Phospholipide spontan zu Doppellipidschichten oder Micellen oder Vesikeln zusammen - so können sich membranumschlossene Reaktionsräume bilden
- Abgrenzung gegenüber äußerem Medium
- Arbeitsteilung (und höhere Leistungsfähigkeit) wurde ermöglicht durch Bildung weiterer Reaktionsräume in der Zelle

13\_vSW\_EMS

Eine Mitstudentin erstellt eine Übersicht über Kompartimente der eukaryotischen Zelle und ordnet dabei Mitochondrien und Chloroplasten als Komponenten des eukaryotischen Endomembransystems ein.

Nennen Sie Argumente, die dagegen sprechen.

- Mitochondrien und Chloroplasten haben andere phylogenetische Herkunft
- Mitochondrien und Chloroplasten sind von zwei Zellmembranen umschlossen. Zwischen den beiden Membranen befindet sich der Intermembranraum. Die innere Membran wird durch Invaginationen in die Matrix hinein stark vergrößert und bildet bei Chloroplasten Thylakoide und bei Mitochondrien die Cristae
- Die entstehenden Reaktionsräume sind von äußerster Bedeutung für die Entstehung eines Membranpotenzials durch einen Protonengradienten
- Mitochondrien und Chloroplasten besitzen sowohl eine eigene DNA als auch eigene Ribosomen und zwei Biomembranen als Hülle
- Mitochondrien und Chloroplasten sind nicht über Transportvesikel in das Endomembransystem des sekretorischen und endocytischen Wegs eingebunden.
- Endomembransystem vermutlich durch Einstülpungen der Plasmamembran entstanden

Ein GEF (Guanosine-triphosphate-Exchange-Factor) bewirkt, dass bei einem G-Protein ein gebundenes GDP gegen GTP ausgetauscht wird. Das G-Protein wird somit aktiviert und wirkt auf den Effektor. GAP (GTPase-activating protein) hingegen aktiviert die GTPase Aktivität, wodurch GTP zu GDP hydrolysiert.

Beschreiben Sie das zugrundeliegende Prinzip der Beziehung von GEF zu GAP.

- Prinzip des Antagonismus (o. Gegenspielers, Aktivierung – Inaktivierung)
- allgemeine Bezeichnung für eine gegeneinander gerichtete Wirkungsweise; tritt bei vielen Stoffwechsel-, Wachstums- und Entwicklungsprozessen auf
- Die GTP-Austauschfaktoren spielen bei vielen biochemischen Prozessen eine wichtige Rolle bei sehr vielen Signaltransduktionswegen, da ohne sie keine Aktivität der G-Proteine vorhanden wäre

Nennen sie ein weiteres selbst gewähltes Beispiel für das zu Grunde liegende Prinzip.

z.B. enzymgekoppelte Rezeptoren → Protein Kinasen vs. Protein Phosphatasen, andere Membranständige Rezeptoren, ligandengesteuerte Ionenkanäle,

Der Golgi-Apparat besteht aus mehreren meist flachen Hohlräumen, die als Zisternen bezeichnet werden. Die Hauptfunktion des Golgi-Apparats ist die Modifikation, Sortierung und Verpackung von Proteinen und Lipiden zur Sekretion aus der Zelle oder zum Transport zu anderen Organellen.

Bezüglich des Stofftransports durch den Golgi-Apparat werden zwei Modelle diskutiert - das Modell des vesikulären Transports und das Zisternenreifungsmodell.

Erläutern Sie die Modelle und beschreiben Sie die wesentlichen Unterschiede.

- Nach dem Modell des vesikulären Transports werden die Golgi-Zisternen als statische Organellen betrachtet, die einen charakteristischen festen Enzymsatz enthalten. Vesikel knospen jeweils von der Zisterne ab und werden von cis nach trans transportiert.
- Nach dem Zisternenreifungsmodell reift jede Zisterne von cis nach trans. Die Enzyme werden demnach mithilfe von Vesikeln zu jeweils jüngeren Zisterne rück transportiert.
- Beim einen Modell werden die Proteine durch Vesikel von einer Zisterne zur nächsten transportiert, in dem anderen verbleiben sie in den Zisternen, die sich in ihrer Enzymzusammensetzung ändern.

34\_vSW\_Kdyn

Eine häufig in Lehrwerken auftauchende Aussage lautet: *Die Kompartimentierung der eukaryotischen Zelle ist dynamisch.*

Benennen und begründen Sie die Konzepte, die dieser Aussage zu Grunde liegen.

- Konzept der Kompartimentierung
- Auflösung und Neubildung von Kompartimenten (z.B. Golgi – Zisternenreifungsmodell)
- Stofftransport (Protein Biosynthese, Modifikation, Targeting)
- Membranfluss im Endomembransystem (beteiligte Kompartimente, Membranfluss – Vesikel und Fusionsprozesse)
- dynamisches Gleichgewicht von Endo- und Exocytose
- Wachstum und Teilung von Zellen

52\_vSW\_versMem

Biomembranen sind charakterisiert durch eine Lipiddoppelschicht. Diese Lipiddoppelschicht zeichnet sich jedoch durch eine Variabilität in ihrer Zusammensetzung in verschiedenen Kompartimenten aus, um verschiedenen Funktionen zu gewährleisten.

Beschreiben Sie mindestens zwei Beispiele für eine solche Variabilität der Membranstruktur in der eukaryotischen Zelle.

- Allgemein: Membranproteine, Lipidzusammensetzung, Glycolipide und –proteine, Kohlenhydratseitenketten
- Plasma vs. Mitochondrien und Chloroplastenmembran;
- Plasmamembran von anderen Membranen des Endomembransystems durch beispielsweise Glykokalyx außen
- Innere (Kernlamina) und äußere (Ribosomen) Kernmembran

35\_vSW\_KomM

Häufig findet sich als Erklärung für das Konzept der Kompartimentierung folgende Kompartimentierungsregel: *Kompartimente sind membranumschlossene Reaktionsräume. Die Membran trennt dabei einen plasmatischen von einem nichtplasmatischen Raum.*

Vereinfachend wird der Begriff Kompartiment oft mit dem Begriff Organell gleichgesetzt.

Erläutern Sie, wie dies, bezogen auf den Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten zu Verständnisschwierigkeiten führen könnte.

- Diese Organellen besitzen eine doppelte Membran und haben damit plasmatische und nichtplasmatischen Phasen und damit auch mehrere Reaktionsräumen/Kompartimente auf.
- Der perinukleäre Raum zwischen den Kernmembranen wird als nichtplasmatische und das Karyoplasma als plasmatische Phase bezeichnet.
- Mitochondrien besitzen eine doppelte Membran, wobei die innere Membran Einstülpungen aufweist. Dadurch entstehen mehrere Reaktionsräume, die als einzelne Kompartimente begriffen werden können. Das Mitoplasma/Mitochondrien-Matrix gilt dabei als plasmatische Phase.
- Auch Plastide weisen mehrere Membranen auf und bilden mit dem Stroma und Thylakoiden eigene Reaktionsräume.

Die Doppellipidschicht der inneren und äußeren Kernmembran ist an den Kernporen vereinigt und bildet daher eine zusammenhängende Membranfläche. Auf Grundlage dessen meint einer Ihrer Mitstudenten folgendes: „Da Membranen zusammenhängende Flüssigkeiten sind, sollten die Membranproteine frei zwischen äußerer und innerer Kernmembran diffundieren können. Die Proteinzusammensetzung der inneren und äußeren Membran müsste daher gleich sein.“

Ihnen ist jedoch bekannt, dass tatsächlich jede der beiden Kernmembranen andere Proteinzusammensetzungen aufweist, die ihre unterschiedlichen Funktionen widerspiegelt.

Wie lässt sich dieses scheinbare Paradoxon erklären?

- Die Kernhülle hat spezialisierte Bereiche, die besondere Proteine enthalten
- Die Proteine, die eine besondere Funktion im Inneren der Membran haben sind durch Wechselwirkungen mit anderen Bestandteilen verankert und sind deshalb an den jeweiligen Seiten lokalisiert
- Bsp. Verankerung von Membranproteinen mit Chromosomen und Kernlamina

Beschreiben Sie anhand der Funktionen warum der Begriff „Cytoskelett“ eventuell zu Fehlvorstellungen führen kann.

- Für alle drei Typen von Cytoskelettelementen gilt: es handelt sich nicht um ein steifes unflexibles Gerüst oder Skelett, sondern um ein außerordentlich flexibles Geflecht von Strukturen.
- Adäquate Vorstellung in dem Sinne, dass es sich um flexible Strukturen handelt, die für Bewegung innerhalb der Zelle verantwortlich sind und gleichzeitig für Stützfunktion
- Begriff "Cytoskelett" kommt sicherlich von der Erscheinung dieser Strukturen im Fluoreszenzmikroskop
- Cytoskelettelemente sind dynamisch und anpassungsfähig

In eukaryotischen Zellen liegt der Zellkern als Kompartiment vor. Die Funktion prokaryotischer Zellen ist allerdings nicht an einen echten Zellkern mit Kernmembranen gebunden.

Erläutern Sie die Konsequenzen dieses bedeutenden strukturellen Unterschieds.

- Die eukaryotische Genexpression ist komplizierter als die prokaryotische.
- Gene der prokaryotischen Zellen besitzen keine Introns, die die codierenden Sequenzen unterbrechen, sodass eine mRNA sofort nach ihrer Transkription translatiert werden kann, ohne dass eine weitere Bearbeitung notwendig ist.
- Die Kernhülle trennt in eukaryotischen Zellen die Transkription und die Translation räumlich und zeitlich voneinander. Ein primäres RNA-Transkript wird so lange im Kern festgehalten, bis es entsprechend bearbeitet wurde und eine mRNA bildet.

51\_UW\_ASSequ

Die Polypeptidkette eines Proteins, aus dem eine *tight junction* unter anderem besteht, durchquert die Membran vier Mal. Sie hat zwei extrazelluläre Schleifen und eine cytoplasmatische Schleife, sowie ein kurzes N- und C-terminales Stück im Cytoplasma.

Wie würden Sie die Abfolge der Aminosäuresequenz dieses Proteins hinsichtlich ihrer Hydrophobizität beschreiben?

- AS-Sequenz = polar-unpolar- polar-unpolar-polar- unpolar -polar-unpolar-polar
- An den Stellen an denen Kette die Membran durchquert, weist sie eine Sequenz aus AS auf, die unpolare Seitenketten haben, wie Alanin, Valin, Methionin, Leucin, Isoleucin, Prolin, Tryptophan, Phenylalanin
- An den Stellen an denen die Kette cytoplasmatische Schleifen aufweist oder an den jeweiligen Enden sind AS vertreten mit polaren Seitenketten, wie Glycin, Serin, Asparagin, Cystein, Glutamin, Tyrosin, Threonin

43\_UW\_TMP

Nennen Sie die Sekundärstrukturen von Proteinen, die bei Transmembranproteinen innerhalb eines Membrandurchgangs auftreten.

Alpha-Helix, Beta-Faltblatt

Nennen Sie jeweils ein Beispiel für einen solchen Membrandurchgang.

Beta-Faltblatt - Porine  
Alpha-Helix – Natrium Kalium Pumpe

**Beim Probanden für die Teilnahme bedanken!**

## II. Codierleitfäden

### II.a) Codierleitfaden zur Auswertung der offenen Aufgaben des Prätests und der Laut-Denken-Studie

**Stand: nach Auswertung von Zyklus 3 (WiSe 2018/19)**

#### Zur Erstellung des Kategoriensystems

Zur Codierung dienen deduktiv gebildete Kategorien (Erwartungshorizont, wissenschaftlichen Vorstellungen entsprechend), die im Laufe der Auswertung durch induktive Kategorien (aus dem Material heraus) ergänzt werden (Kuckartz 2012). Es können ebenfalls induktiv Subkategorien gebildet werden, um die Aussagen besser zu differenzieren. Es wird dabei in folgender Schrittfolge vorgegangen:

- Transkription und Sich-Vertraut-Machen mit dem Material
- Bestimmen von Codiereinheiten im Material
- (Weiter-)Entwicklung von Subkategorien und Kategoriendefinitionen (auch Hauptkategorien können ergänzt werden)
- Erprobung des Kategoriensystems
- Modifikation des Kategoriensystems
- Kodieren des gesamten Materials mit dem überarbeiteten Kategoriensystem
- Ergebnisdarstellung, Interpretation (vgl. Schreier 2014)

#### Ziel der Auswertung

Der Prätest und die Laut-Denken-Studie besteht aus zwei Teilen. Der erste Teil dient der Erhebung der Einstellungen zum Lehramtsstudium und zum vermittelten Fachwissen im Lehramtsstudium. Im zweiten Teil wird das abrufbare zellbiologische Fachwissen mit dem Fokus auf die Struktur und Funktion der Biomembran erhoben. Dabei stehen die von den Studierenden geäußerten biologischen Konzepte. Im Vordergrund.

#### Zur Verwendung des Kategoriensystems

Die Zuordnung zu den Kategorien erfolgt über das Programm MaxQDA. Die Kategorien wurden zunächst deduktiv erstellt und durch induktiv aus dem Material gewonnene Kategorien ergänzt. Alle hier aufgeführten Items sind eigene Entwürfe.

Sowohl der Prätest als auch die Laut-Denken-Studie in zwei Teile geteilt. Der **erste Teil** gilt der **Erhebung von Einstellungen zum Lehramtsstudium und zum Fachwissen**. Es wird hier zusätzlich zur verbalen Kategorienbildung eine Farbcodierung vorgenommen. Grün sind dabei eher positiv konnotierte Aussagen, rot hingegen negativ konnotierte Aussagen. Grau sind Kategorien ohne Wertung.

Auch die generelle Struktur der Kategorien für den **zweiten Teil zur Erhebung des zellbiologischen Fachwissens** folgt einer Farbcodierung. Fachlich nicht angemessene Antworten sind rot codiert. Es taucht ebenfalls die Kategorie „Keine Antwort“ auf, die jedoch zur Redundanzvermeidung nicht im Codierleitfaden mit aufgenommen wurde.

- Fachlich nicht angemessene Antwort
  - Evtl. Begründung als Subkategorie
  - Evtl. Begründung als Subkategorie
  - ...
- Keine Antwort (Taucht im Manual als Kategorie nicht auf. Wird generell codiert, wenn keine Antwort gegeben wird, oder wenn expliziert wird, dass der\*die Proband\*in die Antwort nicht weiß)
- Fachlich angemessene Antwort – Begründung 1
  - Evtl. Beispiel als Subkategorie
- Fachlich angemessene Antwort – Begründung 2
- Fachlich angemessene Antwort – Begründung 3
- ...

Zur besseren Vergleichbarkeit der Codierung bei zwei Codierer\*innen werden prinzipiell gesamte Passagen immer bis zum Sprecherwechsel codiert, auch wenn bereits ein anderer fachlicher Inhalt angesprochen wurde.

Es kann dabei stets mehrfach codiert werden. Das heißt innerhalb einer Antwort können stets mehrere Kategorien vergeben werden.

#### Literatur

Kuckartz, Udo (2012): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Schrier, M. (2014): Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, Vol 15, No 1, Art. 18, Online verfügbar, URL: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/2043/3635> (letzter Aufruf: 20.08.2019)

Item	EFS1		
Einordnung	Einstellungen zum Lehramtsstudium		
Wortlaut:	Bitte vervollständige folgenden Satz: „Das ich mit Fachstudierenden zum Teil gemeinsam studiere, bedeutet für mich...“		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Austausch	Das gemeinsame Studium mit Fachstudierenden bietet eine Basis für einen Studiengangs-übergreifenden Austausch	Wird codiert, wenn die Möglichkeit zum Austausch mit Studierenden aus anderen Studiengängen hervorgehoben wird.	<i>Auf jeden Fall die Möglichkeit Personen zu haben den es ähnlich geht bzw. Gesprächspartner, falls man eine Lerngruppe bildet. Und das man sich austauschen kann und nicht komplett auf sich allein gestellt ist.</i> (Transkript_Laut_Denken_BÄ04AU: 5 - 5)
Chance für hohes Fachwissen	Das gemeinsame Studium mit Fachstudierenden bietet die Möglichkeit für den Erwerb eines hohen Fachwissens.	Wird codiert, wenn das gemeinsame Studium als Chance für ein höheres Fachwissen wahrgenommen wird.	<i>... dass ich Fachwissen weit über den „normalen“ Kompetenzbereich eines Biologiekurses erwerbe.</i> (Prätest_SoSe2018_RE17AM: 5 - 5)
hohes Niveau	Durch das gemeinsame Studium wird Wissen auf einem hohen Niveau vermittelt.	Wird codiert, wenn das durch das gemeinsame Studium zustande kommende (wahrgenommene) hohe Niveau positiv wahrgenommen wird.	<i>Ein höheres Leistungsniveau (nicht negativ gemeint)</i> (Prätest_SoSe2017_KA04IN, Pos. 5)
Kein Unterschied	Das gemeinsame Studium hat in der Wahrnehmung der Studierenden keinen Einfluss auf die Inhalte und deren Vermittlung und ihr Studierverhalten.	Wird codiert, wenn durch das gemeinsame Studium kein Unterschied wahrgenommen wird.	<i>Keinen Unterschied</i> (Prätest_SoSe2017_MA16IN: 5 - 5)
ungleiche Behandlung	Das gemeinsame Studium führt zu einer ungleichen/ungerechten Behandlung von Lehramtsstudierenden.	Wird codiert, wenn das durch das gemeinsame Studium ein ungleiche/ungerechte Behandlung von Lehramtsstudierenden wahrgenommen wird.	<i>Ungleiche Behandlung, da Lehramtsstudenten oft von den Professoren nicht wahrgenommen werden, Fachstudierenden jedoch schon.</i> (Prätest_SoSe2017_AL15HA: 5 - 5)
Überwiegend Theorie	Durch das gemeinsame Studium wird im Lehramtsstudium überwiegend Theorie vermittelt.	Wird codiert, wenn das das gemeinsame Studium als Grund für ein theorielastiges Studium wahrgenommen und bezeichnet wird.	<i>Dass oftmals der theoretische Anteil in meinem Studium überwiegt</i> (Prätest_SoSe2017_AL31RG: 5 - 5)
zu hohes Niveau	Durch das gemeinsame Studium ist das fachliche Niveau im Lehramtsstudium zu hoch.	Wird codiert, wenn das das gemeinsame Studium als Grund für ein zu hohes Niveau für Lehramtsstudierende wahrgenommen wird.	<i>dass wenig Stoff für den späteren Lehrerberuf vermittelt wird → nur Fachwissen auf viel zu hohem Niveau, auch aus Oberstufen-Sicht</i> (Prätest_SoSe2017_KA30IN: 5 - 5)
unangemessene Vergleiche	Durch das gemeinsame Studium nehmen Dozierenden unangemessene Vergleiche hinsichtlich der Leistungen zwischen den Studierenden der unterschiedlichen Studiengänge vor.	Wird codiert, wenn das das gemeinsame Studium als Grund für unangemessene Vergleiche und Leistungsanforderungen seitens der Dozierenden wahrgenommen und benannt wird.	<i>dass häufig Vergleiche angestellt werden (hinsichtlich Leistung, Intelligenz, Anspruch des Studiums), die ich für unangebracht halte.</i> (Prätest_SoSe2017_ME24IG: 5 - 5)
wenig Praxisbezug	Durch das gemeinsame Studium mit Fachstudierenden weist das Lehramtsstudium einen geringen Praxisbezug auf.	Wird codiert, wenn das das gemeinsame Studium als Grund für einen geringen Praxisbezug wahrgenommen und benannt wird.	<i>[...] zu wenig Praxisbezug</i> (Prätest_SoSe2017_VI23IN: 5 - 5)
keine Passung	Durch das gemeinsame Studium kann das Lehramtsstudium nicht auf die Bedürfnisse der Lehramtsstudierenden eingegangen werden.	Wird codiert, das gemeinsame Studium als Grund für eine geringe Differenzierung hinsichtlich der Bedürfnisse der Lehramtsstudierenden wahrgenommen und benannt wird.	<i>[...], keine auf das Lehramt zugeschnittenen Vorlesungen [...]</i> (Prätest_SoSe2017_VI23IN: 5 - 5)
unbenötigtes Fachwissen	Durch das gemeinsame Studium wird viel Fachwissen erworben, welches im späteren Beruf keine Anwendung findet.	Wird codiert, das gemeinsame Studium als Grund für die Vermittlung von unnützem Fachwissen für den späteren Beruf wahrgenommen und benannt wird.	<i>Dass ich sehr viel Fachwissen lerne, welches ich in meinem späteren Beruf nicht benötige</i> (Prätest_SoSe2017_VI23IN: 5 - 5)



Item	EFS13_1		
Einordnung	Einstellungen zum Lehramtsstudium		
Wortlaut:	Nehmen Sie eine Ungleichbehandlung von Lehramts- und Fachstudierenden in der Biologie wahr?		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
nein	Es wird keine ungleiche/ungerechte Behandlung von Lehramts- und Fachstudierenden in der Biologie wahrgenommen	Wird codiert, wenn die Antwort „nein“ gegeben wird und damit keine ungleiche Behandlung wahrgenommen wird.	Nein (Prätest_SoSe2017_AL31RG: 8 - 8)
ja	Es wird eine ungleiche/ungerechte Behandlung von Lehramts- und Fachstudierenden in der Biologie wahrgenommen	Wird codiert, wenn die Antwort „ja“ gegeben wird und damit eine ungleiche Behandlung wahrgenommen wird.	ja (Prätest_SoSe2017_AL15HA: 8 - 8)

Item	EFS13_2		
Einordnung	Einstellungen zum Lehramtsstudium		
Wortlaut:	Wenn ja, habe sie ein konkretes Beispiel dafür?		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
weniger fachwissenschaftliche Lehrveranstaltungen für Lehramtsstudierende	Studierende aus den Fachwissenschaften (vorranging Biowissenschaften) haben häufig mehr fachwissenschaftliche Veranstaltungen (z.B. Praktika) zu einem Thema, schreiben aber dennoch die gleiche Modulprüfung wie Lehramtsstudierende mit weniger fachwissenschaftlichen Veranstaltungen.	Wird codiert, wenn als Beispiel für eine ungleiche/ungerechte Behandlung sinngemäß genannt wird, dass Fachstudierende mehr fachwissenschaftliche Lerngelegenheiten haben und trotzdem die gleiche Prüfung, wie Lehramtsstudierende schreiben.	Lehrämtern fehlt oft das Seminar zu einer Vorlesung, man muss aber am Ende dieselbe Prüfung schreiben. (Prätest_WiSe18_19_BE03IN: 12 - 12)
Prüfungsumfang/ Lernstoff	Der Prüfungsumfang und der Lernstoff ist für Lehramtsstudierende nicht wesentlich geringer, obwohl weniger Leistungspunkte im Fach erbracht werden.	Wird codiert, wenn die gleichen Erwartungen an Lehramtsstudierende und Fachstudierende als Ungleichbehandlung wahrgenommen wird.	Es wird teilweise von Lehramtsstudenten genauso viel erwartet. (Prätest_WiSe18_19_HE27DT: 12 - 12)
wenig Wertschätzung für Lehramtsstudierende	Lehramtsstudierenden wird weniger Wertschätzung als Fachstudierenden entgegengebracht.	Wird codiert, wenn eine geringere Wertschätzung von Lehramtsstudierenden wahrgenommen und geäußert wird.	teilweise „belächeln“ von Lehrämtern (Prätest_WiSe18_19_CA22EF: 12 - 12)

Item	F5		
Einordnung	Einstellungen zum Fachwissen		
Wortlaut:	Wie schätzen Sie die Relevanz des universitär vermittelten Fachwissens für die Ausübung ihres späteren Berufs ein?		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
- Subkategorie			
Relevant	Das universitär vermittelte Fachwissen wird im Allgemeinen als relevant für die Ausübung des späteren Berufs als Lehrkraft wahrgenommen.	Wird codiert, wenn das universitär vermittelte Fachwissen als eher relevant wahrgenommen wird. Die Begründung für die wahrgenommene Relevanz wird als Subkategorie codiert.	<p>Sehr hoch, da dich fachliche Sicherheit das Selbstbewusstsein steigert und die Zeit zum Einarbeiten verkürzt (Prätest_SoSe2017_CO13ST: 14 - 14)</p> <p>Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Begründung: Zeitersparnis,</li> <li>- Begründung: Fachliche Sicherheit/Selbstbewusstsein</li> </ul> <p>Hoch, da ein tieferes Verständnis für das Fach wichtig ist, um auch über den Stoff hinausgehende Fragen von Schüler*innen beantworten zu können und der Klasse immer voraus zu sein. (Prätest_SoSe2017_HA20RT: 14 - 14)</p> <p>Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Begründung: Mehr Fachwissen als Schüler*innen</li> </ul> <p>Ich denke, dass das universitäre Fachwissen sehr wichtig ist, um z.B. interessierten Schülern mehr als Schulwissen erklären zu können und Überblicke,</p>

			<p>sowie Schwerpunkte im Rahmenlehrplan zu erkennen (Prätest_SoSe2017_KA04IN: 14 - 14) Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Begründung: Überblick</li> <li>- Begründung: Mehr Fachwissen als Schüler*innen</li> </ul>
<p>Nicht relevant</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Begründung: zu viel Tiefe</li> <li>- Begründung: irrelevante Inhalte</li> <li>- Begründung: Rahmenlehrplan</li> <li>- Begründung: Kein Schulwissen</li> <li>- Begründung: Keine Anwendung</li> </ul>	<p>Das universitär vermittelte Fachwissen wird als eher nicht relevant für die Ausübung des späteren Berufs wahrgenommen.</p>	<p>Wird codiert, wenn das universitär vermittelte Fachwissen als eher relevant wahrgenommen wird. Die Begründung für die wahrgenommene Relevanz wird als Subkategorie codiert</p>	<p><i>Ich denke, dass es zu detailliert für die Schule ist und man so ein Detailwissen vergisst, wenn man es nicht anwendet.</i> (Prätest_SoSe2017_AS20IN: 14 - 14) Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Begründung: Keine Anwendung</li> </ul> <p><i>Nicht sehr relevant. Es ist alles eher Aufbauwissen, kaum etwas, was man den Schülern/Schülerinnen später wirklich beibringen soll und muss.</i> (Prätest_SoSe2017_KA30IN: 14 - 14) Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Begründung: Kein Schulwissen</li> </ul> <p><i>Dennoch werden „unrelevante“ Themen sehr häufig mit eingebracht, sprich es wird zu sehr in die Materie eingetaucht</i> (Prätest_SoSe2017_AL15HA, Pos. 14) Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Begründung: zu viel Tiefe</li> </ul>

Item	<b>EUW1_1</b>		
Einordnung	Einstellungen zum Fachwissen		
Wortlaut:	Was sollte Ihrer Meinung nach, in der fachwissenschaftlichen Ausbildung gekürzt, bzw. ergänzt werden, damit sich das von Ihnen als wichtig betrachtete Fachwissen bestmöglich entwickeln kann?		
	Gekürzt werden sollte:		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
- Subkategorie			
<p>Allgemeine Kürzung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Umfang allgemein</li> <li>- Weniger Tiefe</li> </ul>	<p>Im fachwissenschaftlichen Anteil des Lehramtsstudium sollte vor allem hinsichtlich der Tiefe und des Detaillierungsgrad der vermittelten Inhalte gekürzt werden.</p>	<p>Wird codiert, wenn eher unspezifisch eine Kürzung der Inhalte in Breite und Tiefe gefordert wird. Die Ausprägung der Aussage wird als Subkategorie codiert</p>	<p><i>Die ganzen winzigen Details, die nur für die Klausur auswendig gelernt werden müssen und kein Konzept sich dahinter erschließen lässt</i> (Prätest_SoSe2017_KA30IN: 18 - 18) Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Weniger Tiefe</li> </ul> <p><i>Der Umfang des abgefragten Fachwissens in den Klausuren</i> (Prätest_SoSe2017_VI23IN: 18 - 18) Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Umfang allgemein</li> </ul>
<p>Konkrete Inhalte</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Zoologie</li> <li>- Botanik</li> <li>- Tierphysiologie</li> <li>- Pflanzenphysiologie</li> <li>- Biochemie</li> <li>- Spezielle Zoologie</li> <li>- Spezielle Botanik</li> <li>- Physik</li> <li>- Chemie</li> <li>- Molekularbiologie</li> <li>- Systematiken allgemein</li> <li>- Stoffwechselfvorgänge allgemein</li> </ul>	<p>Im fachwissenschaftlichen Anteil des Lehramtsstudium sollten konkrete Inhalte, die für den Beruf als Lehrkraft weniger relevant wahrgenommen werden gekürzt werden. Die Inhalte betreffen häufig ganze Vorlesungsthemen.</p>	<p>Wird codiert, wenn spezifisch die Kürzung von Bestimmten Inhalten (zumeist Vorlesungsthemen) gefordert wird. Die Ausprägung der Aussage wird als Subkategorie codiert</p>	<p><i>Abfragen von Stammbäumen (spez. Bot/Zoo)</i> (Prätest_SoSe2017_KA04IN: 18 - 18) Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spezielle Zoologie</li> <li>- Spezielle Botanik</li> <li>- Systematiken allgemein</li> </ul> <p><i>Die biochemischen Teile</i> (Prätest_WiSe18_19_HE27DT: 19 - 19) Codierung:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Biochemie</li> </ul>

Item	EUW1_1		
Einordnung	Einstellungen zum Fachwissen		
Wortlaut:	Was sollte Ihrer Meinung nach, in der fachwissenschaftlichen Ausbildung gekürzt, bzw. ergänzt werden, damit sich das von Ihnen als wichtig betrachtete Fachwissen bestmöglich entwickeln kann?		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Wiederholungen	Im fachwissenschaftlichen Anteil des Lehramtsstudiums Biologie sollten Wiederholungen ergänzt werden.	Wird codiert, wenn die Ergänzung von Wiederholungen gefordert wird.	<i>Wiederholung zentraler Inhalte auch nach den entsprechenden Veranstaltungen</i> ◊ <i>Verknüpfung von Modulen?</i> (Prätest_WiSe18_19_DE05RG: 22 - 22)
abschlussbezogene Lehrveranstaltungen	Im fachwissenschaftlichen Anteil des Lehramtsstudiums Biologie sollten abschlussbezogene Lehrveranstaltungen ergänzt werden.	Wird codiert, die Ergänzung, von abschlussbezogenen Lehrveranstaltungen gefordert wird (Bzw. der Ersetzung der gemeinsamen Lehrveranstaltungen durch abschlussbezogene Veranstaltungen).	<i>Die didaktische Herangehensweise + eine spezielle Vorlesung für Lehramtsstudenten</i> (Prätest_WiSe18_19_MA12RT: 22 - 22)
Schulwissen	Im fachwissenschaftlichen Anteil des Lehramtsstudiums Biologie sollte vermehrt Schulwissen ergänzt werden.	Wird codiert, wenn die Ergänzung oder verstärkte Fokus auf Schulwissen gefordert wird.	<i>Mehr Unterrichtsbezug</i> ◊ <i>schulrelevante Themen mehr bzw. genauer behandeln</i> (Prätest_WiSe18_19_GA17DT: 22 - 22)
Übungen/Seminare	Im fachwissenschaftlichen Anteil des Lehramtsstudiums Biologie sollten vermehrt Übungen und Seminare mit Schulbezug ergänzt werden.	Wird codiert, wenn die Ergänzung von vertiefenden Seminaren/Übungen (häufig mit Berufsfeldbezug) gefordert wird.	<i>Vertiefende Seminare zu Vorlesungen; Bezüge zur Schule/Unterricht; strukturierte Vermittlung des Fachwissens (in VL)</i> (Prätest_WiSe18_19_BE03IN: 22 - 22)
Anwendungsbeispiele	Im fachwissenschaftlichen Anteil des Lehramtsstudiums Biologie sollten vermehrt Anwendungsbeispiele Eingang finden.	Wird codiert, wenn die Ergänzung von Anwendungsbeispielen (häufig mit Berufsfeldbezug) gefordert wird.	<i>mehr reale Bezüge</i> (Prätest_WiSe18_19_HE27DT: 22 - 22)
spezielle Themen	Im fachwissenschaftlichen Anteil des Lehramtsstudiums Biologie sollten vermehrt spezielle biologische Themen, die einen hohen Berufsfeldbezug aufweisen, ergänzt werden.	Wird codiert, wenn die Ergänzung von speziellen Themen (häufig mit Berufsfeldbezug) gefordert wird.	<i>Schulrelevante Themen wie Fortpflanzung, Berufsorientierung, Umweltschutz, „Experimentelle“ Biologie, praktische Veranstaltungen</i> (Prätest_SoSe2017_CO13ST: 21 - 21)
Praktika	Im Lehramtsstudium Biologie sollten vor allem praktische Kurse ergänzt werden.	Wird codiert, wenn die Ergänzung von Praktika (unspezifisch ob Labor- oder Schulpraktika) gefordert wird.	<i>Mehr praktische Arbeit, gerade im Bezug zum Unterrichten</i> (Prätest_WiSe18_19_CA22EF: 22 - 22)
Fachdidaktik	Im Lehramtsstudium Biologie sollten vor allem fachdidaktische Kurse ergänzt werden.	Wird codiert, wenn die Ergänzung von Fachdidaktik gefordert wird.	<i>Mehr didaktische/praktische Kurse</i> (Prätest_WiSe18_19_CH04IN, Pos. 22)

Item	<b>2_SW_TP</b>		
Einordnung	Schulwissen – Fakten – Aufbau von Tier- und Pflanzenzelle		
Wortlaut:	Welches der folgenden Gebilde kommt sowohl in Tier- <u>und</u> höheren Pflanzenzellen vor?		
Wert/Code	Antwortmöglichkeiten		
0	Chloroplast		
0	Zellsaftvakuole		
1	Mitochondrium		
0	Centriole		

Item	<b>4_SW_SeWe</b>		
Einordnung	Schulwissen – Prozessbeschreibung – Sekretorischer Weg		
Wortlaut:	Bauchspeicheldrüsenzellen (Pankreaszellen) bauen radioaktiv markierte Aminosäuren in Proteine ein. Diese Markierung neu synthetisierter Proteine versetzt den Forscher in die Lage, ihre Lokalisation oder ihre Bewegung in der Zelle zu verfolgen. In diesem Bsp. wollen wir ein von der Bauchspeicheldrüsenzelle ausgeschüttetes Enzym verfolgen. Welcher der aufgezeigten ist der für das Enzym wahrscheinlichste Transportweg durch die Zelle?		
Wert/Code	Antwortmöglichkeiten		
0	ER → Golgi → Zellkern		
0	Golgi → ER → Lysosom → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren		
1	ER → Golgi → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren		
0	ER → Lysosomen → Vesikel, die mit der Plasmamembran fusionieren		

Item	<b>7_SW_zGr (Teil 1)</b>		
Einordnung	Schulwissen – Fakten – Aufbau von Tier- und Pflanzenzelle		
Wortlaut:	Zellen können unterschiedlichste Formen und Größen einnehmen. Wodurch wird die Zellgröße <u>hauptsächlich</u> limitiert?		
Wert/Code	Antwortmöglichkeiten		
0	die Konzentration von Wasser im Cytoplasma.		
0	den Energiebedarf.		
1	das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen.		
0	die Zusammensetzung der Plasmamembran.		

Item	<b>7_SW_zGr (Teil 2)</b>		
Einordnung	Schulwissen – Fakten – Aufbau von Tier- und Pflanzenzelle		
Wortlaut:	Zellen können unterschiedlichste Formen und Größen einnehmen. Wodurch wird die Zellgröße hauptsächlich limitiert? <u>Begründen Sie ihre Antwort.</u>		
Kategorie - Subkategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Falsche Auswahlmöglichkeit in Teil 1 gewählt - Zusammensetzung der Plasmamembran - Konzentration von Wasser im Cytoplasma - Energiebedarf	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind. Es wird nur einer der Subcodes vergeben.	<i>Die Zusammensetzung der Plasmamembran - Die Zusammensetzung der Plasmamembran bestimmt, welche Moleküle/Substanzen die Membran passieren und somit in die Zelle eintreten/austreten können. Wichtig sind dabei Transporter und Kanalproteine/Carrier.</i> (Prätest_WiSe18_19_GU27IN: 29 - 30) <i>Die Konzentration von Wasser im Cytoplasma - Die Konzentration von Wasser im Cytoplasma limitiert die Zellgröße, da das Cytoplasma mehr als 90% der Größe ausmacht.</i> (Prätest_WiSe18_19_DE05RG: 29 - 30) <i>Den Energiebedarf – die Zellgröße hängt davon ab, wie energetisch günstig sie für den Organismus ist.</i> (Prätest_WiSe18_19_CA22EF: 29 - 30)
Fachlich falsche Aussagen trotz richtiger Auswahl in Teil 1	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Auswahl der Antwortmöglichkeit zwar fachlich angemessen ist, die Aussagen zur Begründung jedoch nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind. Wird auch codiert, wenn keine Begründung gegeben wird oder	<i>Das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen</i> <i>Ich habe geraten.</i> (Prätest_WiSe18_19_CH04IN: 29 - 30)

		angegeben wurde, dass geraten wurde.	
Nährstoffmenge begrenzt durch Oberfläche	Die Oberfläche begrenzt die Nährstoffmenge, die vom Außenmilieu in die Zelle gelangt.	Wird codiert, wenn die Antwort in fachlich angemessener Form die Limitation der Nährstoffaufnahmen durch die Oberfläche beschreibt.	<i>Das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche Ver- und Entsorgung der Zelle findet über die Oberfläche statt. Bei zu großem Volumen kann diese nicht gewährleistet werden. (Prätest_SoSe2018_KA22IN: 26 - 27)</i>
Abgabe der Menge von Abfallprodukten begrenzt durch Oberfläche	Die Oberfläche limitiert die Menge der abgegebenen Abfallprodukte.	Wird codiert, wenn die Antwort in fachlich angemessener Form die Limitation der Abgabe von Sekretionsprodukten durch die Oberfläche beschreibt.	<i>Das Verhältnis von Volumen zu Oberfläche Ver- und Entsorgung der Zelle findet über die Oberfläche statt. Bei zu großem Volumen kann diese nicht gewährleistet werden. (Prätest_SoSe2018_KA22IN: 26 - 27)</i>
Oberer Grenzwert bestimmt durch geringere Diffusionsgeschwindigkeit bei größerem Volumen	Der obere Grenzwert wird durch die Diffusionswege, bzw. die geringe Diffusionsgeschwindigkeit bei größeren Volumen im Vergleich zur geringeren Oberfläche, begrenzt.	Wird codiert, wenn die Antwort in fachlich angemessener Form die Limitation durch die Diffusionsgeschwindigkeit bei größerem Volumen beschreibt.	<i>Das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen Viele Transportprozesse laufen über Diffusion/Osmose ab und nur „kleine Zellen sind durch ihr Verhältnis von A<sub>0</sub> und V effizient bezüglich Stofftransport (Prätest_WiSe18_19_BÄ04AU: 29 - 30)</i>

Item	<b>53_SW_LipZus_1</b>
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext – lineare Kausalität – Konzepte müssen erkannt und miteinander vernetzt werden – Konzept der Membranfluidität mit Konzept der Poikilothermie
Wortlaut:	Machen Sie eine Voraussage, welcher der folgenden Organismen den höchsten Prozentsatz an ungesättigten Fettsäuren in seinen Membranen hat.
Wert/Code	Antwortmöglichkeiten
0	Wüstenschlange
0	Polarbär
0	Thermophiles Bakterium, das in heißen Quellen bei 100 °C lebt
1	Antarktisches Kriebler

Item	<b>53_SW_LipZus_2</b>		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen – lineare Kausalität – Konzepte müssen erkannt und miteinander vernetzt werden – Konzept der Membranfluidität mit Konzept der Poikilothermie		
Wortlaut:	Machen Sie eine Voraussage, welcher der folgenden Organismen den höchsten Prozentsatz an ungesättigten Phospholipiden in seinen Membranen hat. <u>Begründen Sie ihre Antwort.</u>		
Kategorie - Subkategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Falsche Auswahlmöglichkeit in Teil 1 gewählt - Thermophiles Bakterium o Schutz gegen Hitze - Wüstenschlange - Polarbär o Schutz gegen Kälte - Fett als Speicher	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind. Es wird nur einer der Subcodes vergeben.	<i>Thermophiles Bakterium Ich stelle mir vor, dass ungesättigte Fettsäuren (meist flüssig) in wärmeren Gebieten sinnvoller sein könnten, da der Aggregatzustand sich nicht ändert. (Prätest_WiSe18_19_BÄ04AU: 33 - 34) Polarbär Aufgrund der kalten Außentemperaturen muss der Wärmeverlust so niedrig wie nur möglich ausfallen. Ungesättigte Fettsäuren sind stabiler, da sie zahlreiche Doppelbindungen aufweisen. (Prätest_WiSe18_19_DE05RG: 33 - 34)</i>
Fachlich falsche Aussagen trotz richtiger Auswahl in Teil 1 - Ungesättigte FS liefern Energie	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Auswahl der Antwortmöglichkeit zwar fachlich angemessen ist, die Aussagen zur Begründung jedoch nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind. Wird auch codiert, wenn keine Begründung gegeben wird oder angegeben wurde, dass geraten wurde.	<i>Antarktische Kriebler Die Tiere haben den kältesten Lebensraum und brauchen deswegen am meisten Energie aus den Fettsäuren. (Prätest_WiSe18_19_CA22EF: 33 - 34)</i>

Fluidität der Membran mit ungesättigten FS bei niedrigen Temperaturen	Aufgrund eines hohen Anteils von ungesättigten Phospholipiden bleiben ihre Membranen auch bei diesen Temperaturen fluide.	Wird codiert, wenn das Konzept der Membranfluidität in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang erwähnt wird	<i>Antarktische Krebstiere</i> <i>Ungesättigte Fette verfestigen sich bei niedrigeren Temperaturen, als gesättigte Fettsäuren</i> (Prätest_WiSe18_19_JU13IN: 33 - 34)
Wechselwarm	Polarbären regulieren im Gegensatz zu Krebstieren ihre Körpertemperatur. Die Körpertemperatur von Krebstieren ist deutlich niedriger.	Wird codiert, wenn das Konzept der Thermoregulation in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang erwähnt wird.	<i>Antarktische Krebstiere</i> <i>Je mehr ungesättigte Fettsäuren, desto niedriger der Schmelzpunkt der Fettsäuren - Lebewesen ertragen kältere Temperaturen (ohne dass Zellen kaputt gehen). Krebstier ist im Gegensatz zu Polarbär wechselwarm + seiner Umwelt mehr ausgeliefert</i> (Prätest_SoSe2017_HA20RT: 28 - 29)
Doppelbindungen	Ungesättigte Fettsäuren weisen Doppelbindungen auf, die Knicke im langkettigen hydrophoben Bereich der Membranlipide ausbilden. Dies verursacht eine weniger dichte Packung der Membranlipide.	Wird codiert, wenn der der Zusammenhang von vorhandenen Doppelbindungen und Membranfluidität fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang erwähnt wird.	<i>Antarktische Krebstiere</i> <i>Ungesättigte Fettsäuren sind nicht so starr wie Gebilde aus gesättigten Fettsäuren, was Vorteile bei niedrigen Temperaturen hat</i> (Prätest_SoSe2017_CO13ST: 28 - 29)

#### Items – Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext

Item	50_vSW_Amph		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext - Wissen über Konzepte – Konzepte können mit Beispielen untermauert werden - <i>Konzept der Amphiphilie</i>		
Begründung der Einordnung	Die Eigenschaft von Phospholipidmolekülen amphipatisch zu sein, stellt eine zentrale strukturelle Gegebenheit in der Doppellipidschicht dar, die maßgeblich zur Funktion dieser beiträgt. Die Bedeutung dieses Konzepts kann anhand von dem Beispiel der notwendigen Zusammenlagerung, um einen energetisch günstigen Zustand zu erreichen, erläutert werden.		
Wortlaut:	Erläutern Sie inwiefern die Eigenschaft amphiphiler Moleküle (z.B. Phospholipide), sich notwendigerweise zusammenzulagern, entscheidend für die Funktion lebender Zellen ist.		
Kategorie - Subkategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind. Es wird nur einer der Subcodes vergeben.	<i>Lipide lagern sich zu Ketten zusammen. Dadurch entstehen Fettsäuren. Diese sind überlebensnotwendig.</i> (Prätest_WiSe18_19_BE03IN: 37 - 37)
Bildung von Reaktionsräumen	In wässriger Umgebung lagern sich Phospholipide spontan zu Doppellipidschichten oder Micellen oder Vesikeln zusammen - so können sich membranumschlossene Reaktionsräume bilden	Wird codiert, wenn die Bildung von Reaktionsräumen in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Da nur so wichtige Kompartimente aus Phospholipidmembranen gebildet werden können.</i> (Prätest_WiSe18_19_CA22EF: 37 - 37)
Abgrenzung	Durch Reaktionsräume ist eine Abgrenzung gegenüber äußerem Medium möglich	Wird codiert, wenn das Konzept der Biomembran als Abgrenzungsstruktur in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Die Eigenschaft ermöglicht es ein konstantes Medium innerhalb einer Zelle zu erzeugen (innen hydrophil, Membran hydrophob). Dies ermöglicht den Ablauf vieler physiologischer Prozesse innerhalb von Zellen.</i> (Prätest_WiSe18_19_GU27IN: 37 - 37)
Arbeitsteilung	Arbeitsteilung (und höhere	Wird codiert, wenn das Konzept der Arbeitsteilung in	<i>[...] Weiterhin werden so Biomembranen gebildet ◊ getrennte Reaktionsräume ◊</i>

	Leistungsfähigkeit) wurde ermöglicht durch Bildung weiterer Reaktionsräume in der Zelle	fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Arbeitsteilung innerhalb der Zelle</i> (Prätest_SoSe2017_DA15GE: 32 - 32)
Lipidaggregate - Lipiddoppelschicht - Vesikel - Micelle	Durch die Eigenschaft der Amphiphilie lagern sich Membranlipide an ihren hydrophoben Bereichen zusammen und bilden Aggregaten in Form von Micellen, Vesikeln oder Doppellipidschichten.	Wird codiert, wenn das Konzept der Bildung von Lipidaggregaten n fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Entstehung von Plasmamembran beruhen auf Vorgang. Bildung von Reaktionsräumen bzw. von Zellen überhaupt erst möglich</i> (Prätest_SoSe2017_HA20RT: 32 - 32)

Item	13 vSW EMS		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext - Wissen über Konzepte – Konzepte können mit Beispielen untermauert werden - <i>Kompartimentierung</i>		
Begründung der Einordnung	Die Kompartimentierung ist ein zentrales Konzept in der Biologie. Um diese Ausgabe zu lösen, ist es nötig Wissen über die Struktur und die evolutionäre Herkunft verschiedener Zellkompartimente aufzuweisen. Mitochondrien bzw. Chloroplasten einerseits und Komponenten des Endomembransystems andererseits können als Beispiele für die Verschiedenheit von Zellkompartimenten in Struktur und Funktion betrachtet werden.		
Wortlaut:	Eine Mitstudentin erstellt eine Übersicht über Kompartimente der eukaryotischen Zelle und ordnet dabei Mitochondrien und Chloroplasten als Komponenten des Endomembransystems ein. Nennen Sie Argumente, die dagegen sprechen.		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	<i>Chloroplasten sind Zellorganelle NUR pflanzlicher eukaryotischer Zellen. Tierische Zellen haben keine Chloroplasten.</i> (Prätest_SoSe2018_IN20US: 36 - 36)
Phylogenetische Herkunft	Mitochondrien und Chloroplasten haben andere phylogenetische Herkunft	Wird codiert, wenn das Konzept der Kompartimentierung in fachlich angemessenem Zusammenhang mit der phylogenetischen Herkunft beider Organellen (Endosymbiose) beschrieben wird.	<i>Haben eine Doppelmembran; durch sekundäre Endosymbiose entstanden</i> (Prätest_WiSe18_19_CH04IN: 40 - 40)
C + M zwei Membranen	Mitochondrien und Chloroplasten sind von zwei Membranen umschlossen.	Wird codiert, wenn das das Vorhandensein von Doppellipidschichten bei Chloroplasten und Mitochondrien fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Aus der Endosymbiose entstanden; eigene DNA + Replikation; doppelte Membranen</i> (Prätest_WiSe18_19_MA09RG: 40 - 40)
C + M eigene DNA	Mitochondrien und Chloroplasten besitzen sowohl eine eigene DNA als auch eigene Ribosomen und zwei Biomembranen als Hülle	Wird codiert, wenn das das Vorhandensein einer eigenen DNA bei Chloroplasten und Mitochondrien fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Aus der Endosymbiose entstanden; eigene DNA + Replikation; doppelte Membranen</i> (Prätest_WiSe18_19_MA09RG: 40 - 40)
Nicht in Vesikeltransport des EMS eingebunden	Chloroplasten und Mitochondrien sind nicht in den vesikulären Transport des Endomembransystems (Membranfluss/Endocytose-Weg/ Sekretorischer Weg) mit eingebunden.	Wird codiert, wenn die fehlende Einbindung in den Vesikeltransport des EMS in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Sind nicht in allen eukaryotischen Zellen vorhanden (nicht universell); haben keine Funktion im Endomembransystem, da sie nicht für die Verpackung von Molekülen in Vesikel zuständig sind.</i> (Prätest_WiSe18_19_GU27IN: 40 - 40)
Teilung zellzyklusunabhängig	Die Replikation und die Teilung von Mitochondrien und Chloroplasten erfolgt unabhängig von Zellzyklus	Wird codiert, wenn die Unabhängigkeit der Teilung von Chloroplasten und Mitochondrien als unabhängig vom Zellzyklus in fachlich angemessenem Wortlaut und	<i>[...] teilen sich selbstständig, zellzyklusunabhängig</i> (Prätest_SoSe2017_HA20RT: 35 - 35)

		im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	
--	--	---	--

Item	20 vSW_GEF (Teil 1)		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext - Wissen über Konzepte – Beispiele können Konzepten zugeordnet werden – <i>Prinzip Antagonismus</i>		
Begründung der Einordnung	Molekulare Schalter folgen dem Prinzip des Antagonismus und stellen ein zentrales Konzept der Signaltransduktion dar. Um diese Ausgabe zu lösen, ist es nötig Wissen über das Konzept von Molekularen Schaltern und dem antagonistischen Prinzip aufzuweisen und die Funktionsweise von G-Proteinen in dieses Konzept als Beispiel zuordnen zu können.		
Wortlaut:	Ein GEF (Guanosine-triphosphate-Exchange-Factor) bewirkt, dass bei einem G-Protein ein gebundenes GDP gegen GTP ausgetauscht wird. Das G-Protein wird somit aktiviert und wirkt auf den Effektor. GAP (GTPase-activating protein) hingegen aktiviert die GTPase Aktivität, wodurch GTP zu GDP hydrolysiert.  Beschreiben Sie das zugrundeliegende Prinzip der Beziehung von GEF zu GAP.		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	Schlüssel-Schloss-Prinzip: GEF bewirkt eine Aktivierung eines Enzyms (GAP). Dieses Enzym wird jedoch nur von GEF aktiviert um somit bestimmte metabolische Prozesse zu regulieren. (Prätest_WiSe18_19_BÄ04AU: 44 - 44)
Antagonismus	GEF und GAP wirken entgegengesetzt entsprechend des Prinzips des Antagonismus.	Wird codiert, wenn das Grunde liegende Prinzip als Antagonismus beschrieben wird.	GEF und GAP wirken als Antagonisten (Prätest_SoSe2017_AL31RG: 39 - 39)
Gegenspieler	GEF und GAP wirken entgegengesetzt entsprechend des Gegenspieler-Prinzips.	Wird codiert, wenn das Grunde liegende Prinzip als Gegenspieler-Prinzip beschrieben wird.	GEF und GAP stehen konträr gegenüber, wobei immer ein Phosphat angelagert oder abgegeben wird. Eine Reaktion wird somit selbstständig wieder umgekehrt. (Prätest_WiSe18_19_MA12RT: 44 - 44)
Aktivierung/Inaktivierung	GEF und GAP wirken entgegengesetzt entsprechend einer Aktivierung und Inaktivierung eines G-Proteins.	Wird codiert, wenn das Grunde liegende Prinzip als Aktivierung und Inaktivierung beschrieben wird.	GEF und GAP bewirken entgegengesetzte Abläufe in einer Zelle. Durch GEF wird das GDP eines G-Proteins zu GTP welches eine aktivierende Wirkung hat. Wird GTP aber zu GDP reduziert (durch GAP) wird eine Reaktion gehemmt. (Prätest_SoSe2018_RE17AM: 39 - 39)

Item	31 vSW_GAM		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext - Wissen über Theorien - Wissen über alternative Lösungswege		
Begründung der Einordnung	Zur Erklärung der Organisation des Golgi-Apparats werden zwei Modelle herangezogen. Bis vor kurzem war nicht klar, wie der Proteintransport von Zisterne zu Zisterne und von cis nach trans stattfindet. Heute wird das Zisternenreifungsmodell aufgrund experimenteller Befunde bevorzugt. Zur Lösung dieser Aufgabe muss Wissen über fachliche Theorien/Modelle vorhanden sein, sowie das Bewusstsein dafür, dass es alternative Vorstellungen über den Stofftransport durch den Golgi-Apparat gibt.		
Wortlaut:	Der Golgi-Apparat besteht aus mehreren meist flachen Hohlräumen, die als Zisternen bezeichnet werden. Die Hauptfunktion des Golgi-Apparats ist die Modifikation, Sortierung und Verpackung von Proteinen und Lipiden zur Sekretion aus der Zelle oder zum Transport zu anderen Organellen. Bezüglich des Stofftransports durch den Golgi-Apparat werden zwei Modelle diskutiert - das Modell des vesikulären Transports und das Zisternenreifungsmodell.  Erläutern Sie die Modelle und beschreiben Sie die wesentlichen Unterschiede.		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	<i>Protein reift innerhalb des Golgi-Apparats, der zusammenhängend ist</i> (Prätest_SoSe2018_JA08IN1: 51 - 51)
Vesikulärer Transport	Nach dem Modell des vesikulären Transports werden die Golgi-Zisternen als statische Organellen betrachtet, die einen charakteristischen festen Enzymsatz	Wird codiert, wenn der vesikuläre Transport als Vesikeltransport von Zisterne zu Zisterne fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Vesikulärer Transport: Proteine/Lipide werden in Vesikel verpackt. Diese Vesikel werden von Zisterne zur Zisterne weitergereicht; [...]</i> (Prätest_SoSe2017_AL31RG: 47 - 47)



	enthalten. Vesikel knospen jeweils von der Zisterne ab und werden von cis nach trans transportiert.		
Zisternenreifungsmodell	Nach dem Zisternenreifungsmodell reift jede Zisterne von cis nach trans. Die Enzyme werden demnach mithilfe von Vesikeln zur jeweils jüngeren Zisterne rück transportiert.	Wird codiert, wenn der Zisternenreifungsmodell in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Beim Zisternenreifungsmodell geht man davon aus, dass die Zisternen sich weiterentwickeln mit dem Inhalt den sie haben. Demzufolge würden immer neue Zisternen gebildet und alte abgebaut. Es findet eine konstante Erneuerung des Golgi-Apparats statt.</i> (Prätest_SoSe2018_RE17AM: 46 - 46)

Item	34 vSW Kdyn		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext - Wissen über benötigtes Vorwissen – Konzept der Kompartimentierung		
Begründung der Einordnung	Die Aufgabe setzt Wissen über das Konzept der Kompartimentierung voraus. Die Studierenden sind hier aufgefordert das benötigte Vorwissen zur Lösung der Aufgabe zu beschreiben. Hierbei muss bedacht werden, wie die Aufgabe tatsächlich zu lösen ist und darüber hinausgehend, welche Konzepte und Inhalte dafür verstanden worden sein müssen.		
Wortlaut:	Eine häufig in Lehrwerken auftauchende Aussage lautet: <i>Die Kompartimentierung der eukaryotischen Zelle ist dynamisch.</i> Beschreiben Sie, welche Prinzipien und Vorgänge in der Zelle dieser Aussage zugrunde liegen?		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	<i>Es entstehen Kompartimente, die es ermöglichen Stoffwechselvorgänge unabhängig voneinander ablaufen zu lassen, so können zeitgleich mehrere Vorgänge in der Zelle erfolgen.</i> (Prätest_WiSe18_19_DE05RG: 56 - 56)
Membranfluidität	Durch die Eigenschaft der Membranfluidität können sich Vesikel (Reaktionsräume) von Kompartimenten abschnüren oder mit ihnen fusionieren.	Wird codiert, wenn das Konzept der Membranfluidität (beschrieben durch Begriffe wie flüssig oder fluide) fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Zellen sind zwar kompartimentiert – also eingeteilt – jedoch ist diese Einteilung durch fluide Membranen etc. veränderbar. Dies ermöglicht eine relative Flexibilität bei z.B. Transportprozessen.</i> (Prätest_WiSe18_19_BÄ04AU: 56 - 56)
Membranfluss	Vesikel und deren Inhalt werden (über das Cytoskelett) durch die Zelle transportiert.	Wird codiert, wenn das Konzept des Membranfluss (beschrieben durch Begriffe wie Vesikeltransport) in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Durch Vesikeltransporte können Stoffe von einem Kompartiment zum nächsten transportiert werden.</i> (Prätest_SoSe2018_RE17AM: 50 - 50)
Auf- und Abbau von Kompartimenten (dynamische Gleichgewicht von Endo- und Exocytose)	Zellen und deren Kompartimente sind nicht statisch, sondern Auf-, Ab-, und Umbauprozessen unterlegen. Endo- und Exocytoseprozesse stehen dabei in einem dynamischen Gleichgewicht.	Wird codiert, wenn das Konzept des Membranfluss (beschrieben durch Begriffe wie Vesikeltransport) in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Kompartimente werden ständig auf- und umgebaut (Zellmembran, Membranen)</i> (Prätest_WiSe18_19_GU27IN: 56 - 56) <i>Kompartimente können sich auflösen + wieder zusammensetzen</i> (Prätest_SoSe2018_JA08IN1: 55 - 55)
Wachstum und Teilung	Zellen und ihre Kompartimente befinden sich in ständigen Auf- und Abbauprozessen durch Wachstum und Teilung.	Wird codiert, wenn die Dynamik der Kompartimentierung während der Zellteilung oder des Zellwachstums in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Transport von Stoffen; Zellteilung</i> (Prätest_WiSe18_19_CH04IN: 56 - 56)

Item	52 vSW versMem
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext - Wissen über Konzepte – Konzepte können mit Beispielen untermauert werden

Begründung der Einordnung	Die Aufgabe setzt Wissen über das Konzept der Struktur und Funktion der Biomembran voraus. Einerseits ist die Kenntnis über den prinzipiellen Aufbau der Doppellipidschicht in allen Membranen der Zelle zentral. Andererseits ist es äußerst wichtig die Bedeutung der Unterschiede von Membranen aus verschiedenen Kompartimenten zu kennen; nicht zuletzt, um den verschiedenen Funktionen, die erfüllt werden Rechnung zu tragen.		
Wortlaut:	Biomembranen sind charakterisiert durch eine Lipiddoppelschicht. Diese Lipiddoppelschicht zeichnet sich jedoch durch eine Variabilität in ihrer Zusammensetzung in verschiedenen Kompartimenten aus, um verschiedenen Funktionen zu gewährleisten.  Beschreiben Sie mindestens zwei Beispiele für eine solche Variabilität der Membranstruktur in der eukaryotischen Zelle.		
Kategorie - Subkategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	<i>Hydrophile und hydrophobe Seite</i> (Prätest_WiSe18_19_BE03IN: 60 - 60)
Lipidzusammensetzung	Eine unterschiedlichen Lipidzusammensetzung wirkt sich auf die Eigenschaften und die Funktionen der Biomembran aus.	Wird codiert, wenn die die Variabilität verschiedener Membranen hinsichtlich der Lipidzusammensetzung im Zusammenhang mit der Funktion fachlich angemessen beschrieben wird.	<i>Lipid rafts sind u.a. durch viele Sphingolipide gekennzeichnet, die vermutlich der Zell-Phagozytose dienen [...]</i> (Prätest_WiSe18_19_BÄ04AU: 60 - 60)
Membranen unterschiedlicher Kompartimente verglichen - Doppelmembranen - Membranen des Endomembransystems - Zellmembran - Mitochondrienmembran	Die Membranen verschiedener Kompartimente unterscheiden sich erheblich Plasmamembran von anderen Membranen des Endomembransystems durch beispielsweise Glykokalyx außen	Wird codiert, wenn die Verschiedenheit von Membranen unterschiedlicher Kompartimente im Zusammenhang mit der Funktion fachlich angemessen beschrieben wird.	<i>Chloroplasten und Mitochondrien: Doppelmembran; Vesikel: einfache Membran, welche erleichterte Fusion mit der Zellmembran ermöglicht</i> (Prätest_WiSe18_19_DE05RG: 60 - 60)
Unterschiedliche Proteine	Eine unterschiedlichen Proteinzusammensetzung wirkt sich auf die Funktionen der Biomembran aus (beispielsweise in Form unterschiedlicher Transportproteine)	Wird codiert, wenn die die Variabilität verschiedener Membranen hinsichtlich der Proteinzusammensetzung im Zusammenhang mit der Funktion fachlich angemessen beschrieben wird.	<i>[...] Carrier-Proteine zum Transport von Ionen durch Lipiddoppelschicht.</i> (Prätest_WiSe18_19_BE03IN: 60 - 60)

Item	<b>35 vSW_KomM (Teil 1)</b>		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext – Wissen über fachliche Folgen von Reduktion – Wissen um Fehlvorstellungen zu identifizieren - Wissen über Theorien - sensible Verwendung der Fachsprache		
Begründung der Einordnung	Bei der Auseinandersetzung mit dem Konzept der Kompartimentierung fällt ein uneinheitlicher Gebrauch des Begriffs in der Literatur auf. Ein eher undifferenzierter Zugang ist die Gleichsetzung eines Kompartiments mit einem Organell. Dies sollte Lehrkräften bewusst sein, wenn mit diesen Begriffen (auch im Zusammenhang mit dem Basiskonzept der Kompartimentierung) gearbeitet wird. Bei der Lösung der Aufgabe wird sowohl ein sensibler Umgang mit der Fachsprache gefordert, als auch ein Wissen über die Folgen von Reduktion, wenn ebene Begriffe gleichgesetzt werden.		
Wortlaut:	Häufig findet sich als Erklärung für das Konzept der Kompartimentierung folgende Kompartimentierungsregel: <i>Kompartimente sind membranumschlossene Reaktionsräume. Die Membran trennt dabei einen plasmatischen von einem nichtplasmatischen Raum.</i> Vereinfachend wird der Begriff Kompartiment oft mit dem Begriff Organell gleichgesetzt.  Erläutern Sie, wie dies, bezogen auf den Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten zu Verständnisschwierigkeiten führen könnte.		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw.	<i>Auch in Kompartimenten kann ein Plasma vorliegen. In Chloroplasten zum Beispiel.</i> (Prätest_WiSe18_19_MA12RT: 65 - 65)

		widersprüchlich diesen gegenüber sind.	
Doppelte Membranen	Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten besitzen eine doppelte Membran. Daher gibt es einen Reaktionsraum mehr, als beispielsweise bei Komponenten des Endomembransystems.	Wird codiert, wenn das Vorhandensein einer doppelten Membran der genannten Organellen in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Sie besitzen je eine Doppelmembran, durch die öfter zwischen plasmatische und nicht-plasmatische Räumen getrennt wird.</i> (Prätest_WiSe18_19_MA09RG: 65 - 65)
Plasmatische und nichtplasmatische Phasen	Der Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten weisen nichtplasmatischen <u>und</u> plasmatische Phasen (Karyo-, Mito-, und Chloroplasma) auf.	Wird codiert, wenn das Vorhandensein von plasmatischen und nichtplasmatischen Phasen (durch die Existenz einer doppelten Membran) in den genannten Organellen in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Zellkern, Mitochondrien und Chloroplasten besitzen ein Doppelmembran. Das bedeutet, dass hier auch Plasma [Pfeil auf eine Skizze vom Kern; Karyoplasma] ist.</i> (Prätest_SoSe2018_CL271N: 65 - 65)
Mehrere Reaktionsräume	Zellkern, die Mitochondrien und Chloroplasten weisen mehrere Reaktionsräumen/ Kompartimente auf.	Wird codiert, wenn das Vorhandensein mehrerer Reaktionsräume/Kompartimente in den genannten Organellen in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Mitochondrien und Chloroplasten, beispielsweise, sind mehrfach kompartimentiert und gehören zu den Zellorganellen</i> (Prätest_WiSe18_19_HE27DT: 65 - 65)

Item	<b>54_vSW_MemKH</b>		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext – Wissen um sinnvoll und vorausschauend zu reduzieren – Wissen um fachliche Fehler zu identifizieren – Wissen über Folgen von Reduktion		
Begründung der Einordnung	Um diese Aufgabe zu lösen müssen die Konzepte der Asymmetrie der Biomembran und der Membranfluidität verstanden worden sein. Die Lösung setzt voraus, dass die Asymmetrie der unterschiedlichen Funktionen der Membranseiten dient und durch bestimmte Mechanismen aufrechterhalten wird. Die strukturelle Verschiedenheit der Kernmembranen wird als Beispiel dieser Asymmetrie verstanden.		
Wortlaut:	Die Doppellipidschicht der inneren und äußeren Kernmembran ist an den Kernporen vereinigt und bildet daher eine zusammenhängende Membranfläche. Auf Grundlage dessen meint einer Ihrer Mitstudenten folgendes: „Da Membranen zusammenhängende Flüssigkeiten sind, sollten die Membranproteine frei zwischen äußerer und innerer Kernmembran diffundieren können. Die Proteinzusammensetzung der inneren und äußeren Membran müsste daher gleich sein.“ Ihnen ist jedoch bekannt, dass tatsächlich aber jede der beiden Kernmembranen andere Proteinzusammensetzungen aufweist, die ihre unterschiedlichen Funktionen widerspiegelt. Wie lässt sich dieses scheinbare Paradoxon erklären?		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	<i>Membranproteinen diffundieren nicht nach Konzentrationsgradienten und wollen einen Konzentrationsunterschied ausgleichen.</i> (Prätest_WiSe18_19_BE03IN: 70 - 70)
Verankerung durch Wechselwirkungen	Die Proteine, die eine besondere Funktion im Inneren der Membran haben sind durch Wechselwirkungen mit anderen Bestandteilen (z.B. Kernlamina) verankert und sind deshalb an den jeweiligen Seiten lokalisiert	Wird codiert, wenn das die Verankerung der Membranproteine durch Wechselwirkungen in fachlich angemessenem Wortlaut und im richtigen Zusammenhang beschrieben wird.	<i>Konzentration der Flüssigkeit innerhalb/außerhalb der Kernmembran; zusätzliche Proteintransporter/spezifische Ligandenbindungsstellen.</i> (Prätest_WiSe18_19_GU27IN: 70 - 70)

Item	<b>37_vSW_CSB</b>		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext – Wissen über Folgen von Reduktion – sensible Verwendung der Fachsprache		
Begründung der Einordnung	Diese Aufgabe setzt ein Bewusstsein für die sensible Verwendung der Fachsprache einerseits und ein Wissen über die möglichen Folgen einer Reduktion (indem nicht weiter auf Struktur und Funktion vom Cytoskelett eingegangen wird). In diesem Fall würde eine Analogie zum menschlichen Skelett (bestehend aus Knochen) zu ungenügenden Vorstellungen über das Cytoskelett führen.		

Wortlaut:	Beschreiben Sie anhand der Funktionen warum der Begriff „Cytoskelett“ eventuell zu Fehlvorstellungen führen kann.		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	Keine Stabilisierungsfunktion (Prätest_WiSe18_19_CA22EF: 73 - 73)
Nicht steif/unflexibel	Für alle drei Typen von Cytoskelettelementen gilt: es handelt sich nicht um ein steifes unflexibles Gerüst oder Skelett	Wird codiert, wenn das Cytoskelett als nicht steif, bzw. unflexibel in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	Bei dem Begriff des Skeletts denkt man an feste Strukturen. Das Cytoskelett ist jedoch nicht fest, sondern wird nur durch den inneren Druck aufrecht gehalten. (Prätest_WiSe18_19_MA12RT: 73 - 73)
Flexibles Geflecht	Für alle drei Typen von Cytoskelettelementen gilt: es handelt sich um ein außerordentlich flexibles Geflecht von Strukturen.	Wird codiert, wenn das Cytoskelett als flexibles Geflecht in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	Skelette aus Knochen oder Chitin sind stabil – Cytoskelette jedoch „biegsam“ und flexibel. (Prätest_WiSe18_19_BÄ04AU: 73 - 73)
Dynamik von Cytoskelettelementen	Cytoskelettelemente sind dynamisch und anpassungsfähig	Wird codiert, wenn das Cytoskelett als eines Auf-, Ab- und Umbauprozessen unterworfenen Geflecht in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	Ein Skelett ist statisch → nicht veränderlich; das Cytoskelett in der Zelle wird jedoch ständig umgebaut. (Prätest_WiSe18_19_GU27IN: 73 - 73)
Funktion: Transport	Das Cytoskelett ist für den Transport (von beispielsweise Vesikeln) innerhalb der Zelle verantwortlich.	Wird codiert, wenn die Transportfunktion des Cytosketts in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	Durch das Cytoskelett können Stoffe transportiert werden. Aufgrund des Wortes „Skelett“ könnte man denken, dass es das Gerüst der Zelle darstellt. (Prätest_WiSe18_19_HE27DT: 73 - 73)
Funktion: Stabilität	Das Cytoskelett ist für die Stabilität der Zellform verantwortlich.	Wird codiert, wenn die Stabilisierungsfunktion des Cytosketts in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	<i>Stabilität der Zellorganellen wird gewährleistet, jedoch ist es nicht unbeweglich und unveränderbar, was der Begriff „Skelett“ suggeriert.</i> (Prätest_WiSe18_19_DE05RG: 73 - 73)
Antropomorphe Vorstellungen	Der Begriff Cytoskelett birgt die Gefahr des Vergleichs mit einem Wirbeltierskelett. Bei diesem Vergleich wird lediglich auf die Stabilisierungsfunktion verwiesen und die Transportfunktion außen vor gelassen.	Wird codiert, wenn die Stabilisierungsfunktion des Cytosketts in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	<i>Das Cytoskelett dient zum Stofftransport in der Zelle. Es ist nicht statisch, weshalb es nicht dem Skelett der Wirbeltiere ähnelt. Dies kann zu Missverständnissen führen.</i> (Prätest_SoSe2017_ME24IG: 68 - 68)

Item	<b>38 vSW_ZKK</b>		
Einordnung	Erweitertes Fachwissen für den schulischen Kontext – Wissen um trotz Reduktion auf tieferegehende Frage eingehen zu können		
Begründung der Einordnung	Der Unterschied von Eu- und Prokaryoten wird in den meisten Schulbüchern durch das Vorhandensein, bzw. nicht-Vorhandensein eines echten Zellkerns erläutert. Näher wird auf diesen wichtigen strukturellen Unterschied meist nicht eingegangen. Eine tieferegehende Frage könnte dazu lauten warum dies der Fall ist. Bei der Erläuterung müssen Aussagen zu Kausalitäten vermieden werden. Lehrkräfte sollten trotzdem in Lage sein dieser Frage trotzdem durch Erklärungen zu begegnen.		
Wortlaut:	In eukaryotischen Zellen liegt der Zellkern als Kompartiment vor. Die Funktion prokaryotischer Zellen ist allerdings nicht an einen echten Zellkern mit Kernmembran gebunden. Erläutern Sie die Konsequenzen dieses bedeutenden strukturellen Unterschieds.		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	<i>Bei der prokaryotischen Zelle liegt die DNA frei im Cytoplasma; bei eukaryotischen Zellen muss es bei einer Vermehrung zu einer Zellteilung kommen.</i> (Prätest_WiSe18_19_GU27IN: 77 – 77)
Unterschiede Genexpression	Die eukaryotische Genexpression ist komplizierter als die prokaryotische.	Wird codiert, wenn die Unterschiede in der Genexpression bei Pro- und Eukaryoten in Zusammenhang mit einer Kernhülle in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	<i>Dies hängt vor allem mit der DNA und Synthese zusammen.</i> (Prätest_WiSe18_19_BÄ04AU: 77 - 77)
Prokaryoten: schnelle Reproduktion	In Prokaryoten kann eine mRNA sofort nach ihrer Transkription translatiert	Wird codiert, wenn die geringere Geschwindigkeit der Reproduktion in Zusammenhang mit einer	<i>Einfacher und schneller, aber einfacher Komplex zur Reproduktion</i>

	werden kann, ohne dass eine weitere Bearbeitung notwendig ist.	fehlenden Kernhülle in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	(Prätest_WiSe18_19_MA09RG: 77 - 77)
Räumliche Trennung/keine räumliche Trennung	Bei Eukaryoten sind Transkription und Translation räumlich voneinander getrennt.	Wird codiert, wenn die räumliche Trennung bei Schritten der Proteinbiosynthese in Zusammenhang mit einer Kernhülle in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	<i>Translation und Transkription finden beide im Cytosol statt</i> (Prätest_SoSe2017_AL15HA: 72 - 72)
Zeitliche Trennung/keine zeitliche Trennung	Bei Eukaryoten sind Transkription und Translation zeitlich voneinander getrennt.	Wird codiert, wenn die zeitliche Trennung bei Schritten der Proteinbiosynthese in Zusammenhang mit einer Kernhülle in fachlich angemessener Form beschrieben wird.	<i>-Translation + Transkription = finden gleichzeitig statt</i> (Prätest_SoSe2018_JA08IN1: 82 - 82)

**Items universitäres Wissen**

Item	51_UW_ASsequ		
Einordnung	Universitäres Wissen - Membranproteine		
Wortlaut:	Die Polypeptidkette eines Proteins, aus dem eine <i>tight junction</i> unter anderem besteht, durchquert die Membran vier Mal. Sie hat zwei extrazelluläre Schleifen und eine cytoplasmatische Schleife, sowie ein kurzes N- und C-terminales Stück im Cytoplasma.  Wie würden Sie bezüglich der Abfolge der Aminosäuresequenz dieses Proteins hinsichtlich ihrer Hydrophobizität beschreiben		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	<i>Die hydrophoben Aminosäuren bilden die extrazellulären Schleifen</i> (Prätest_WiSe18_19_CH04IN: 81 - 81)
Unpolar - Membrandurchgang	An den Stellen an denen Kette die Membran durchquert, weist sie eine Sequenz aus AS auf, die unpolare Seitenketten haben.	Wird codiert, wenn die Aminosäuren einer Polypeptidkette innerhalb eines Membrandurchgangs als unpolar beschrieben werden.	<i>Polar (extrazellulär) ◊ unpolar (Membran) ◊ Polar (intrazellulär)</i> (Prätest_SoSe2017_ME24IG: 76 - 76)
Polar - ECM	An den Stellen an denen die Kette extrazelluläre Schleifen aufweist oder an den jeweiligen Enden sind Aminosäuren vertreten mit polaren Seitenketten.	Wird codiert, wenn die Aminosäuren einer Polypeptidkette innerhalb der extrazellulären Matrix als polar beschrieben werden.	<i>Und dann die zweite extrazelluläre...Genau. Die jeweiligen Sachen die sozusagen aus der Biomembran nach draußen gucken, der Teil hier, der Teil und die Stücken, würde ich alle als hydrophil beschreiben.</i> (Transkript_Laut_Denken_BÄ04AU: 85 - 85)
Polar - cytoplasmatisch	An den Stellen an denen die Kette cytoplasmatische Schleifen aufweist oder an den jeweiligen Enden sind Aminosäuren vertreten mit polaren Seitenketten.	Wird codiert, wenn die Aminosäuren einer Polypeptidkette innerhalb des Cytoplasmas als polar beschrieben werden.	<i>[...] Im Cytoplasma. Sozusagen hier und da. Das würde dann bedeuten, dass die im Plasma wären und das Plasma ist hydrophil,</i> (Transkript_Laut_Denken_BÄ04AU: 85 - 85)

Item	43_UW_TMP_1		
Einordnung	Universitäres Wissen - Membranproteine		
Wortlaut:	Nennen Sie die Sekundärstrukturen von Proteinen, die bei Transmembranproteinen innerhalb eines Membrandurchgangs auftreten.		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	<i>α-Faltblatt; β-Helix</i> (Prätest_WiSe18_19_HE27DT: 84 - 84)

$\alpha$ -Helix	Bei Transmembranproteinen treten $\alpha$ -Helices als Sekundärstrukturen auf.	Wird codiert, wenn die $\alpha$ -Helix als mögliche Sekundärstruktur genannt wird.	$\alpha$ -Helix, $\beta$ -Faltblatt (Prätest_WiSe18_19_DE05RG: 84 - 84)
$\beta$ -Faltblatt	Bei Transmembranproteinen treten $\beta$ -Faltblätter als Sekundärstrukturen auf.	Wird codiert, wenn das $\beta$ -Faltblatt als mögliche Sekundärstruktur genannt wird.	$\alpha$ -Helix, $\beta$ -Faltblatt (Prätest_WiSe18_19_JU13IN: 84 - 84)

Item	<b>43_UW_TMP_2</b>		
Einordnung	Universitäres Wissen – Membranproteine		
Wortlaut:	Welche Sekundärstrukturen von Proteinen können bei Transmembranproteinen innerhalb eines Membrandurchgangs auftreten? <u>Nennen Sie jeweils ein Beispiel für einen solchen Membrandurchgang.</u>		
Kategorie	Definition	Codierregel	Ankerbeispiel
Fachlich nicht angemessene Aussagen	Aussagen im Sinne eines inadäquaten Erwartungshorizonts	Wird codiert, wenn die Aussagen nicht den wissenschaftlich angemessenen Vorstellungen entsprechen, bzw. widersprüchlich diesen gegenüber sind.	Polypeptidkette/ Aminosäuresequenz (Prätest_SoSe2018_JA08IN2: 88 - 88)
$\alpha$ -Helix – z.B. Natrium Kalium Pumpe	Ein Großteil der Membrandurchgänge, z.B. Natrium-Kalium Pumpen bestehen aus $\alpha$ -Helices.	Wird codiert, wenn ein fachlich angemessenes Beispiel genannt wird.	-
$\beta$ -Faltblatt – z.B. Porine	Pronine bestehen aus $\beta$ -Faltblättern.	Wird codiert, wenn ein fachlich angemessenes Beispiel genannt wird.	-

## II.b) Codierleitfaden für die Auswertung kooperative Erstellung einer Concept Map

**Stand: nach Auswertung von Zyklus 3 (WiSe 2018/19)**

### Zur Erstellung des Kategoriensystems

Zur Codierung dienen deduktiv gebildete Kategorien (curriculare Analyse: Schulwissen und universitäres Wissen zum Themenbereich Biomembran), die im Laufe der Auswertung durch induktive Kategorien (aus dem Material heraus) ergänzt werden (Kuckartz 2012). Es können ebenfalls induktiv Subkategorien gebildet werden, um die Aussagen besser zu differenzieren. Es wird dabei in folgender Schrittfolge vorgegangen:

- Transkription und Sich-Vertraut-Machen mit dem Material
- Bestimmen von Fundstellen / Codiereinheiten im Material
- (Weiter-)Entwicklung von Subkategorien und Kategoriendefinitionen (auch Hauptkategorien können ergänzt werden)
- Erprobung des Kategoriensystems
- Modifikation des Kategoriensystems
- Kodieren des gesamten Materials mit dem überarbeiteten Kategoriensystem
- Ergebnisdarstellung, Interpretation (vgl. Schreier 2014)

### Ziel der Auswertung

Die Studierenden erhalten den Auftrag eine Concept Map kooperativ (2-3 Personen) auf einem für sie höchst möglichen Niveau zum Thema Struktur und Funktion der Biomembran zu erstellen. Ziel ist es dabei folgende Fokusfrage (mit Hilfe von Prompts) zu beantworten:

*Wie können die Eigenschaften und die daraus folgenden Funktionen der Biomembran anhand ihres Aufbaus erklärt werden?*

- Bringt dabei sowohl Inhalte, die ihr euch in der Zeit des Studiums angeeignet haben, als auch die Inhalte, die euch noch aus der Schule bekannt sind, ein.
- Berücksichtigt die für die Struktur und Funktion der Biomembran relevanten Konzepte, Prinzipien und Modelle. Beachtet dabei, dass Struktur und Funktion sich gegenseitig bedingen und nicht voneinander getrennt werden sollten.
- Gebt, wenn möglich, Beispiele für die von euch gewählten Begriffe/Konzepte und Verbindungen an (mündlich).
- Prüft, inwiefern die die erstellte C-Map die Fokusfrage beantwortet

Im Fokus der Auswertung stehen die von den Studierenden geäußerten/diskutierten biologischen Konzepte. Weiterhin wird auch die Qualität der Äußerungen bei ausgewählten Passagen codiert.

### Zur Verwendung des Kategoriensystems

Die Zuordnung zu den Kategorien erfolgt über das Programm MaxQDA. Die Kategorien wurden zunächst deduktiv erstellt und durch induktiv aus dem Material gewonnene Kategorien ergänzt.

Aussagen, die diesen Kategorien nicht zuzuordnen sind (z.B. ausschließlich strukturierende Aussagen, private Gespräche, etc.) werden nicht codiert, d.h. die Kodierung erfolgt eventbasiert.

Es werden stets Sinnabschnitte codiert, die entweder nur einen Sprecher betreffen oder auch Sprecherwechsel mit einbeziehen. Zur besseren Vergleichbarkeit der Codierung bei zwei Codierer\*innen werden prinzipiell gesamte Passagen immer bis zum Sprecherwechsel codiert, auch wenn bereits ein anderer fachlicher Inhalt angesprochen wurde.

Eine Mehrfachcodierung bestimmter Passagen ist möglich.

### Literatur

Kuckartz, Udo (2012): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Schrier, M. (2014): Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, Vol 15, No 1, Art. 18, Online verfügbar, URL: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/2043/3635> (letzter Aufruf: 20.08.2019)

<b>Hauptkategorie: Bewertung fachlicher Aussagen</b>			
<b>Subkategorien</b>	<b>Definition</b>	<b>Codierregel</b>	<b>Ankerbeispiele</b>
<b>1.1. Vermeidungsstrategie</b>	Eine weitere Ausführung des fachlichen Inhalts wird vermieden.	Wird codiert, wenn explizit geäußert wird, dass dieser fachliche Inhalt (begründet oder unbegründet) nicht weiter ausgeführt oder bearbeitet oder weggelassen wird.	<i>CL22EF: Müssen wir aktiven Transport noch erklären? Also das es immer mit ATP ist z.B.? Oder ist das selbsterklärend?</i> <i>DE05RG: Eigentlich nicht, oder? Es ist für die Membran nicht relevant.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 112 - 113)
<b>1.2. sprachlich schwach</b>	Die Aussage ist nicht unbedingt fachlich unangemessen, aber weist fachsprachliche Mängel auf.	Wird codiert, wenn fachsprachliche Schwierigkeiten geäußert werden.	<i>DE05RG: Es gibt hydrophile Köpfchen und...</i> <i>CL22EF: ...hydrophobe...</i> <i>DE05RG: ...hydrophobe Fortsätze. Soll ich Fortsätze und Köpfchen schreiben, oder?</i> <i>CL22EF: Fortsätze und Köpfchen.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 7 - 10)  <i>Oben, unten und in der Mitte ist der hydrophobe Bereich.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 45 - 45)
<b>1.3. fachliche Unsicherheit explizit geäußert</b>	Bezüglich eines fachlichen Inhalts werden Unsicherheiten geäußert.	Wird nur codiert, wenn explizit erwähnt wird, dass bestimmte fachliche Inhalte (Begriffe, Prozesse, Strukturen etc.) unklar sind.	<i>Lipidaggregate.</i> <i>CL22EF: Kann ich nichts mit anfangen.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 139 - 140)  <i>MA12RT: Kann gut sein. Weiß ich nicht. Kann bestimmt.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 174 - 174)
<b>1.4. fachlich unvollständig</b>	Ein fachlicher Sachverhalt wurde nicht unbedingt fachlich falsch, aber fachlich unvollständig geäußert.	Wird codiert, wenn die Aussage fachlich nicht falsch ist, aber zentrale fachliche Aspekte die im Zusammenhang mit der Thematik stehen nicht erwähnt werden.	<i>DE05RG: Also Membranproteine und die sind jetzt entweder Carrier, Aquaporine oder Ionenkanäle.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 276 - 276)  <i>CL22EF: Fluid-Mosaik-Modell</i> <i>DE05RG: Genau. (...) Was besagt das nochmal?</i> <i>CL22EF: Das ist einfach diese Skizzen. Also dass es sozusagen das auch (zeigt?) mit den Köpfchen und den Schwänzchen. Es ist einfach nur diese Darstellung...</i> <i>DE05RG: Das ist eigentlich nur die Darstellung dieser Phospholipiddoppelschicht, oder?</i> <i>CL22EF: Genau. Ja.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 151 - 157)
<b>1.5. naive Vorstellung</b>	Eine fachlich sehr fragwürdige Aussage, die allerdings nicht leiftfertig als fachliche unangemessen zu bewerten ist.	Wird codiert, wenn Aussagen gemacht werden die auf naive Vorstellungen bezüglich der Themenbereichs Biomembran schließen lassen (z.B. teleologische, antropomorphe, alltagsweltliche Vorstellungen). Die Aussagen müssen von den Grundzügen her nicht unbedingt fachlich falsch sein. <b>Richtigstellung</b>	<i>DE05RG: Aufbau, Eigenschaften und daraus dann die Funktion. Oder? Nein, sagt man nicht immer form follows function? Also Form folgt der Funktion, aber im Modell schwierig darzustellen.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 171 - 171)  <i>Ist Aufgaben nicht primitiv Schutz?</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 102 - 102)
<b>1.6. Richtigstellung</b>	Eine zuerst fachlich unangemessene, naive, unvollständige Aussage wird fachlich angemessen dargestellt.	Wird codiert, wenn der geäußerte Sachverhalt zuvor fachlich unangemessen, naiv, unvollständig, sprachlich schwach wiedergegeben wurde, nun aber auf einem fachlich angemessenen Niveau korrigiert wurde. Beispielsweise, wenn sich Kommilitonen korrigieren, Konzepte interpretativ erschlossen werden oder fachliche Sachverhalte nachgeschlagen wurden	<i>MA12RT: Amphillil.</i> <i>JU13IN: Amphillil?</i> <i>MA12RT: Ja. Hydrophil und hydrophob...</i> <i>JU13IN: Du meinst amphiphil.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 53 - 53)  <i>JU13IN: Glycerin. (...) Ist Membranfluss gleich Membranfluidität? #-0</i> <i>MA12RT: Ja.</i> <i>JU13IN: Nein. Scheinbar nicht. Hier steht noch Membranfluidität. (...)</i> <i>MA12RT: Membranfluss ist das mit den Vesikelbildungen. Hüllproteine, Membranmodell.</i>



			(Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04A U_JU13IN_MA12RT: 230 - 233)  <i>DE05RG: Ich glaube Carrier könnte auch erleichterte Diffusion sein. Und auch aktiver Transport. (...)</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 69 - 69)
<b>1.7. Fachlich unangemessen</b>	Eine oder Mehrere fachlich unangemessenen Aussagen werden geäußert.	Wird codiert, wenn die Aussagen, die gemacht wurden als fachlich nicht angemessen zu bewerten sind, das heißt, wenn sie sich als inkompatibel zu fachlich angemessenen Konzepten erweisen.	<i>JU13IN: Und die tight junctions hast du erst im Epithel? eigentlich, oder? Und nicht in der Membran.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04A U_JU13IN_MA12RT: 71 - 71)  <i>JU13IN: Da steht amphiphil. Das ist etwas anderes. Amphipatisch. Amphiphil mag Fett.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04A U_JU13IN_MA12RT: 136 - 136) <i>Ist dafür da den Mebranfluss, also die Membranfluidität zu erhöhen.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04A U_JU13IN_MA12RT: 229 - 229)

<b>2. Hauptkategorie Schulwissen</b>			
<b>Subkategorie</b> • Sub-Subkategorie	<b>Definition</b>	<b>Codierregel</b>	<b>Ankerbeispiel</b>
<b>2.1. Lipide sind Hauptbestandteile einer Lipiddoppelschicht</b> • Lipide haben hydrophoben und hydrophilen Anteil • Hydrophobe Bereiche lagern sich zusammen • Phospholipide bestehen aus Glycerin mit 2 FS und einer Phosphatgr.	Konzepte und Zusammenhänge bezüglich des allgemeinen strukturellen Aufbaus der Biomembran hinsichtlich der Phospholipide (innerhalb der Wissenskategorie Schulwissen)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<i>JU13IN: Du bist schon ein Schritt weiter. Ich würde erstmal die Lipide mit Kopf und Schwanz für hydrophil und hydrophob.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 29 - 29)  <i>CL22EF: Da gibt es doch die Wechselwirkungen, die das Ganze zusammenhalten. Das keine Bindungen ausgebildet werden, sondern dass es wirklich nur...mir fehlt das Wort gerade.</i> <i>DE05RG: Ich weiß nicht, ob es da vielleicht schon mit drin ist. Ich weiß was du meinst. Also dass sich die...</i> <i>CL22EF: Dass sich die hydrophoben Teile...Genau.</i> <i>DE05RG: ...zusammenlagern und so. Ich weiß aber nicht welche Wechselwirkungen das, ehrlich gesagt, genau sind.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 74 - 80)
<b>2.2. Lipiddoppelschicht stellt die Grundstruktur einer Biomembran da</b> • Glykolipide • Glykoproteine • Kohlenhydratseitenkette • aufgelagerte und durchgängige Proteine • zähflüssige Konsistenz	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Struktur und Bestandteile der Biomembran (innerhalb der Wissenskategorie Schulwissen)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<i>MA12RT: Biomembran ist eine Doppellipidschicht.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 28 - 28)  <i>DE05RG: Wir könnten uns jetzt überlegen, was alles auf der Membran sitzen könnte. Da können jetzt nicht nur...Da könnten Glycolipide, Glycoproteine sitzen. Dann gibt es Kohelenhydratketten nur. Ich meine es gibt unterschiedliche Sachen. Wollen wir das alles auf eins schreiben?</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 24 - 24)
<b>2.3. Membranen weisen vielfältige Funktionen auf</b> • Membran ist eine physiologische Barriere • Kontakt/Erkennungszon e über Membranprot. u. Kohlenh.seitenkette (+5 weitere Beschreibungen)	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Funktion von Biomembranen im Sinne der Kompartimentierung und Kommunikation (innerhalb der	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<i>DE05RG: [...] Also zwei wässrige Milieus oder so. Abgrenzung von wässrigen Milieus. Etwas anderes macht es ja nicht. Es sind immer wässrige Phasen. Oder Phasen vielleicht besser? Ja. Ich glaube Phasen sind...</i> <i>CL22EF: Ja, nimm Phasen.</i> <i>DE05RG: Also Abgrenzung von zwei wässrigen Phasen.</i> (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CL22EF_DE05RG_BE03IN: 34 - 36)

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kompartimentierung durch Bildung von Reaktionsräumen (+10 weitere Beschreibungen)</li> <li>• Weiterleitung von Signalen durch Rezeptorproteine</li> </ul>	Wissenskategorie Schulwissen)		<p><i>JU13IN: Ja, bei der Glykokalix. (...) Schutz und Zell-Erkennung. Irgendwie so war das doch. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_B_Ä04AU_JU13IN_MA12RT: 59 - 59)</i></p> <p><i>DE05RG: Ok. Vielleicht dann noch Funktionen. Also Abgrenzung von Reaktionsräumen. (...) Und dann war noch wichtig zeitgleiches Ablaufen von inkompatiblen Reaktionen. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_C_L22EF_DE05RG_BE03IN: 81 - 81)</i></p> <p><i>GA17DT: Hier. Enzymaktivität steht hier. Signaltransduktion. CH10IN: Wenn wir das nehmen, können wir auch noch Rezeptorproteine hinschreiben. GA17DT: Ja. Signaltransduktion. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 121 - 123)</i></p>
<p><b>2.4. Der Transport durch Membranen erfolgt aktiv oder passiv</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Passiver Transport (+14 Bershreibungen)</li> <li>• Aktiver Transport (+2 Bershreibungen)</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Transports durch Biomembranen. Hiermit im Zusammenhang stehen Aussagen zur selektiv permeablen Eigenschaften der Membran, die Transport durch Diffusion ermöglichen (passiv) oder Transportmechanismen (aktiv oder passiv) nötig machen. (innerhalb der Wissenskategorie des Schulwissens)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<p><i>JU13IN: Wir könnten bei der Transportbarriere noch Osmose und Diffusion ransetzen. MA12RT: Und dafür brauchst du dann wieder die semipermeable Membran. Da könnte man dann wieder so mit hochgehen. MA12RT: Dann brauchen wir die Carrier bzw. Kanäle. JU13IN: Ja. Auf jeden Fall. Dafür brauchen wir dann die passenden Ionen. BÄ04AU: Das zählt dann auch ein Stück weit unter Transport mit. MA12RT+ JU13IN: Ja. JU13IN: Oder aktiver und passiver Transport. MA12RT: Genau. Konzentrationsgefälle. BÄ04AU: Protonenpumpen. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_B_Ä04AU_JU13IN_MA12RT: 106 - 114)</i></p> <p><i>DE05RG: Warte mal. Hatten die integralen Membranproteine, da könnten wir sagen, dass die Carrier sein könnten. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_C_L22EF_DE05RG_BE03IN: 38 - 38) DE05RG: Osmose ist ja einfach Diffusion durch eine semipermeable Membran. Das ist jetzt kein eigenständiger Transport, so richtig, der jetzt wichtig ist. CL22EF: Lassen wir Osmose einfach weg. DE05RG: Ja, finde ich auch. (Lachen) (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_C_L22EF_DE05RG_BE03IN: 282 - 284)</i></p> <p><i>CL22EF: Ja und dann gab es da noch ein, glaube ich. Gab es bei dem aktiven nicht noch ATP-abhängig und ATP-unabhängig oder so etwas? DE05RG: Aktiv ist immer ATP. CL22EF: Ist immer ATP-abhängig? (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_C_L22EF_DE05RG_BE03IN: 54 - 56)</i></p>
<p><b>2.5. Membranfluss zw. Kompartimenten d. Endomembransystems</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Endomembransys.: glattes/raues ER, Zwischenr. Kernhülle, Golgi</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des membranverlagern den Transports über Vesikel zwischen	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit	<p><i>MA12RT: Phagozytose. Haben wir das mit aufgeschrieben? BÄ04AU: Das würde ich wahrscheinlich mit Exo- und Endocytose zusammenlegen. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_B_Ä04AU_JU13IN_MA12RT: 129 - 130)</i></p>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membranfluss mithilfe von Vesikeln zwischen Rkt.räumen d. Zelle</li> <li>• Vesikuläre Transportmechanismen: Endocytose, Exocytose</li> <li>• Vesikelabschn. i.F.v. Endocytose: Pino-, Phago-, rez.verm. Endo</li> <li>• Exocytose: Vesikelfusion, sekretorischer Weg</li> <li>• Membr. v. Mitoch. u. Plastiden nehmen nicht am Membranfluss teil</li> <li>• Endomembransyst. produziert, verpackt, verschickt u. recycelt</li> </ul>	<p>Kompartimenten des Endomembransystems. In den Subcodes gehen auch Aussagen zur Dynamik der Kompartimentierung auf. (innerhalb der Wissenskategorie des Schulwissens)</p>	<p>dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.</p>	<p><i>CH10IN: Soll ich schreiben Vesikelabschnürung oder so etwas? Der Transport von den Vesikeln...Also Membran schnürt die doch wenn dann nur ab, oder?</i>  <i>GA17DT: Nein, entweder aufgenommen oder durch die Membran abgeschnürt.</i>  <i>CH10IN: Ja, genau.</i>  <i>GA17DT: Und Aufnahme, Abgabe.</i>  <i>CH10IN: Das können wir gleich schreiben. Endo- und Exocytose, oder nicht?</i>  <i>(Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 64 - 68)</i></p>
<p><b>2.6. Die Struktur von Biomembran wird in Modellen dargestellt</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Doppellipidschicht</li> <li>• Davson-Danielli-Modell</li> <li>• Sandwichmodell</li> <li>• Flüssig-Mosaik-Modell</li> </ul>	<p>Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Darstellung von Membranstrukturen und Eigenschaften im Modell (innerhalb der Wissenskategorie des Schulwissens)</p>	<p>Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.</p>	<p><i>BÄ04AU: Und das es fluid ist. Fluid-Mosaik-Modell. (...) Es hängt alles so schön zusammen.</i>  <i>(Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 44 - 44)</i>  <i>MA12RT: Was meint sie mit Membranmodelle?</i>  <i>JU13IN: Na hier, Mono-Bilayer, Mosaikmodell, Sandwichmodell.</i>  <i>(Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 295 - 296)</i></p> <p><i>CH10IN: Stimmt, aber das beschreibt auch diese Dynamik und die Membran. Dieses Flüssig-Mosaik-Modell.</i>  <i>GA17DT: Ja, dann machst du es oben. Membranmodell-Beispiel ist das Flüssig-Mosaik-Modell. Beschreibt die Dynamik in der Membranfläche. [...]</i>  <i>GA17DT: Lass erstmal versuchen. Also Flüssig-Mosaik-Modell-Beispiel. Beschreibt Dynamik im Membranfluss. Membranfluidität. Ja aber jetzt haben wir alles untereinander. Müssen wir irgendwie noch einmal...(Lachen)</i>  <i>Beispiel: Flüssig-Mosaik-Modell. Beschreibt Dynamik. [...]</i>  <i>(Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 280 - 283)</i></p>

<b>3. Hauptkategorie: universitäres Wissen</b>			
<b>Subkategorie</b> • Sub-Subkategorie	<b>Definition</b>	<b>Codierregel</b>	<b>Ankerbeispiel</b>
<b>3.1. Das Cytoskelett ist mit der Biomembran assoziiert</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verankerung von Proteinen</li> <li>• Transport in der Zelle</li> <li>• aktive Bewegungen</li> <li>• mechanische Stabilisierung (+ eine Beschreibung)</li> <li>• dynamischer Auf- und Abbau</li> <li>• Cytoskelettelemente (+3 Beschreibungen)</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Zusammenhangs vom Cytoskelett mit der Biomembran (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	-
<b>3.2. Dynamik der Kompartimentierung im Endomembransystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sekretorischer Weg (+2 Beschreibungen)</li> <li>• Endocytose-Weg (+ 2 Beschreibungen)</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Dynamik der Kompartimentierung zum Zwecke des Stofftransports im Endomembransystem. (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens).	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Der Fokus liegt hier auf Transportwegen in der Zelle und molekularen Vesikelabschnürungs- und -fusionsprozessen. Allgemeiner Vesikeltransport und Nennung von Exo- und Endocytose werden innerhalb der Kategorie 2.5 (Schulwissen) kodiert Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<i>MA12RT: Hast du Hüllproteine? Bei der Vesikelbildung? Müssen wir aufschreiben, dass wir Hüllproteine haben und die könnten wir dann noch spezialisieren, wenn noch Zeit ist. Also mit Clathrin und Caveolin.</i> <i>(Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_B Ä04AU_JU13IN_MA12RT: 133 - 133)</i>
<b>3.3. Fettsäuren sind Bestandteile von Lipiden</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• FS sind Membranbausteine und Energieträger</li> <li>• FS sind amphiphil</li> <li>• FS können in gesättigter u. ungesättigter Form vorliegen</li> <li>• Unges. FS besitzen nicht konj. Doppelbind. mit starrer Krümmung</li> <li>• Ungesättigte Fettsäuren sind weniger dicht gepackt</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Struktur und Eigenschaften von Fettsäuren als Membranbestandteile (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<i>GA17DT: [...] Ausschlaggebend für Membranfluidität? Ist auch nicht ausschlaggebend, oder? Zum Einen wird die Membranfluidität gegeben, dadurch dass es immer nur ungesättigte Kohlenwasserstoffketten sind. Und die immer diese Knicke haben. Ungesättigte Kohlenwasserstoffketten. (...) Ach man.</i> <i>(Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 327 - 327)</i>
<b>3.4. Verschiedene Lipide als Membranbestandteile</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Glycerophospholipide: häufigste Klasse von Membranproteinen</li> <li>• Cholesterin liegt als schwach amphiphiles Steroid vor</li> <li>• Glykolipide: statt einer Phosphatgruppe einen o. mehrere Zucker</li> <li>• Lipide sind amphiphile Moleküle</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Struktur und Eigenschaften von verschiedenen Lipiden als Membranbestandteile (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<i>MA12RT: Haben wir Cholesterin schon mit eingebracht?</i> <i>BÄ04AU: Nein.</i> <i>MA12RT: Na dann können wir von da von amphipatisch runter gehen zum Cholesterin, weil das ja auch die Eigenschaft besitzt.</i> <i>[...]</i> <i>(Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_B Ä04AU_JU13IN_MA12RT: 167 - 170)</i>  <i>CH10IN: Dies sind ja hydrophob/hydrophil. Also so hätte ich jetzt gedacht. Biomembran besteht aus einer Phospholipiddoppelschicht. Die besteht aus Phospholipiden und Kohlenhydraten und die sind hydrophil</i>

			und hydrophob, also amphiphil. Keine Ahnung wie man das legt. Entweder...so die Pfeile und dann nach amphiphil. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 196 - 196)
<b>3.5. Lipide bilden Aggregate</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lipide bilden Monolayer auf Wasseroberfläche</li> <li>• Micellen bilden sich d. Zusammenlagerung hydrophober Bereiche</li> <li>• Biologische Membranen sind Bilayer</li> <li>• Bildung v. Liposomen/Vesikel d. Zusammenlag. hydrophob. Bereich</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Bildung von Lipidaggregaten durch hydrophobe Wechselwirkung (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens).	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Hier wird vor allem auf die Verwendung der jeweiligen Fachbegriffe aus den universitären Wissen Wert gelegt. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<p><i>JU13IN: Micellen? Micellen werden aus dem Monolayer, oder?</i>  <i>BÄ04AU: Micellen sind Monolayer. Ja. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 45 - 46)</i></p> <p><i>JU13IN: Wir können hier noch die amphipatische Eigenschaft mit einbringen. Zur Vesikelbildung und so. Das ist doch das sie einen hydrophilen und hydrophoben Bereich haben. (...) Amphipatisch- hydrophil und hydrophob. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 134 - 134)</i></p>
<b>3.6. Membranfluidität ermöglicht Beweglichk. v. Membranbestandteilen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Messung durch FRAP-Ansatz</li> <li>• Membranfluidität ist notwendig f.d. Beweglichkeit d. Membran</li> <li>• Wird durch Cholesterin moduliert</li> <li>• Übergangstemperatur bei Phasenwechsel abhängig. v. Sättigung d. FS</li> <li>• Transversale Diffusion v. Phospholipiden muss katalysiert werde</li> <li>• Eine laterale Diffusion läuft sehr schnell ab</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Bedeutung und Modulierung der Membranfluidität (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<p><i>JU13IN: Wie wäre es noch mit Scramblase und Flippase? Die konnte ich mir immer gut merken. MA12RT: Hm. BÄ04AU: Da bin ich wieder raus. JU13IN: Damit die sich drehen kann im Bilayer. Die Enzyme. BÄ04AU: Achso. JU13IN: Und das eine war irgendwie am ER und das andere am Dingsens. Am Glogi-Apparat. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 123 - 128)</i></p> <p><i>MA12RT: Also hier steht, das Cholesterin für die Versteifung und Festigkeit der Biomembran ist. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_BÄ04AU_JU13IN_MA12RT: 180 - 180)</i></p>
<b>3.7. Membranen sind asymmetrisch aufgebaut</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Innen- u. Außenseite sind unterschiedlich zusammengesetzt</li> <li>• Glykolipide und Oligosaccharidketten kommen nur außen vor</li> <li>• Verschiedene Phospholipide sind unterschiedlich verteilt</li> <li>• Membranproteine sind mit bestimmter Orientierung eingebettet</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Zustandekommens und der Asymmetrie der Biomembran (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Die reine nennung von Kohlenhydratseitenkette n als Membranbestandteil wird im Schulwissen kodiert. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<p><i>DE05RG: Asymmetrie. CL22EF: Achso, weil außen andere Teile angelagert sind als innen. Das gehört mit zu den Anlagerungen. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_C L22EF_DE05RG_BE03IN: 124 - 125)</i></p> <p><i>Hier haben wir auch noch Glycolipide, Glycoproteine, die sind doch in der Außenschicht, oder? Meistens. Also periphere Proteine. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 297 - 297)</i></p>
<b>3.8. Integr. Membr.proteine amphiphil - liegen i. versch. Strukt. vor</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• integr. Membranproteine amphiphil; Bereich in Membran hydrophob</li> <li>• Können als <math>\alpha</math>-Helices und <math>\beta</math>-Fässer vorliegen</li> <li>• <math>\beta</math>-Fässer v.a. in bakteriellen u. mitochondrialen Porinen</li> </ul>	Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich der Sekundärstruktur von integralen Membranproteinen (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens)	Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.	<p><i>BÄ04AU: Struktur von Membranproteinen (...) Ich hab schon vergessen wie das mit der Struktur abließ. Ich hab dieses Bild aus der Vorlesung, hier, mit der Struktur von Membranproteinen. Das hatte ich schon wieder vergessen. JU13IN: Na da hast du irgendwie fünf, sechs verschiedene... BÄ04AU: Na es musste mit bestimmten Proteinen und bestimmten Aminosäuren; das muss an bestimmten Stellen sozusagen positiven oder negativen</i></p>

			<p>Charakter hat. Ob es natürlich für die Funktion wichtig ist? (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_B Ä04AU_JU13IN_MA12RT: 162 - 164)</p> <p>Membranproteine. Also es gibt integrale Proteine, die sind hydrophob. Die sind im hydrophoben Bereich sozusagen. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 211 - 211)</p>
<p><b>3.9. Lipidklassen beeinflussen die Membranstruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lipidklasse beeinflusst Membrandicke</li> <li>• Lipidklasse beeinflusst Membrankrümmung</li> </ul>	<p>Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Einflusses der Lipidklassen auf die Membranstruktur (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens)</p>	<p>Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.</p>	<p>GA17DT: Membran-Lipidklasse beeinflusst die Membrandicke. Also die Lipid Rafts, oder? (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 187 - 187)</p>
<p><b>3.10. Lipid Rafts als organisierte Strukturen in der Membran</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Visualisierung: über Kraftmikroskopie</li> <li>• Struktur (+ 2 Beschreibungen)</li> <li>• Funktion (+ 5 Beschreibungen)</li> </ul>	<p>Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Einfluss von Lipid-Rafts auf die Membranstruktur und Membranfunktion (innerhalb der Wissenskategorie des universitären Wissens)</p>	<p>Wird codiert, wenn Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden.</p>	<p>BÄ04AU: Cholesterin war doch auch in der Nähe von Lipid Rafts zu finden (unv.). MA12RT: Na es ist ein Membranlipid. BÄ04AU: Ja, aber war es nicht auch gehäuft bei Lipid Rafts? MA12RT: Kann gut sein. Weiß ich nicht. Kann bestimmt. BÄ04AU: Das schwante mir gerade irgendwie so vor. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_B Ä04AU_JU13IN_MA12RT: 171 - 175) JU13IN: Und was war die Funktion von Lipid Rafts? Die haben meistens Vesikel und so etwas gebildet. BÄ04AU: Genau. (...) Vermutlich. JU13IN: Vermutlich? BÄ04AU: Na es ist alles noch Modell. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_B Ä04AU_JU13IN_MA12RT: 176 - 179)</p> <p>Es ist, glaube ich, dass die sich untereinander, oder? (Liest) Ah, hier Lipidflöße(..) "Rafts sammeln häufig Proteine". (...) Einfach nur, glaube ich, was das... Die sammeln was an. Die sammeln Proteine an: Signalproteine, virale Hüllproteine. (...) Es ist nicht die Bewegung, sondern...Mein Gedanke war auch falsch. Dachte das ist Transport. CH10IN: Aber sind das jetzt Rafts? GA17DT: Na Lipid- - na hier. CH10IN: (liest) GA17DT: Lipide, die Proteine ansammeln? Hätte ich jetzt gesagt. Anders steht es hier nicht drin. (Transkript_Audio_CMap_WiSe18_19_CH10IN_GA17DT: 177 - 181)</p>

## II.c) Codierleitfaden für die Auswertung der kooperativen Dekonstruktion von Schulbuchtexten

**Stand: nach Auswertung von Zyklus 3 (WiSe 2018/19)**

### Zur Erstellung des Kategoriensystems

Zur Codierung dienen deduktiv gebildete Kategorien (curriculare Analyse: Schulwissen und universitäres Wissen zum Themenbereich Biomembran), die im Laufe der Auswertung durch induktive Kategorien (aus dem Material heraus) ergänzt werden (Kuckartz 2012). Es können ebenfalls induktiv Subkategorien gebildet werden, um die Aussagen besser zu differenzieren. Es wird dabei in folgender Schrittfolge vorgegangen:

- Transkription und Sich-Vertraut-Machen mit dem Material
- Bestimmen von Fundstellen / Codiereinheiten im Material
- (Weiter-)Entwicklung von Subkategorien und Kategoriendefinitionen (auch Hauptkategorien können ergänzt werden)
- Erprobung des Kategoriensystems
- Modifikation des Kategoriensystems
- Kodieren des gesamten Materials mit dem überarbeiteten Kategoriensystem
- Ergebnisdarstellung, Interpretation (vgl. Schreier 2014)

### Ziel der Auswertung

Die Studierenden erhalten den Auftrag einen Schulbuchtext (Doppelseite) zum Thema Struktur und Funktion der Biomembran kooperativ (2-3 Personen) kritisch zu analysieren. Ziel ist es dabei folgende Fokustrage (mit Hilfe von Leitfragen) zu beantworten:

*Analysiert die euch vorliegenden Schulbuchtexte hinsichtlich der fachlichen Qualität.*

Leitfragen:

- Welches Vorwissen benötigen Leser\*innen, um Begriffe/Textabschnitte zu verstehen?
- Welche „Reduktionen“ könnt ihr im Text identifizieren?
- Welche Folgen haben die „Reduktionen“ im Text für die weitere Auseinandersetzung mit dem Thema für die Leser\*innen? Wählt mindestens zwei „Reduktion“ im Text aus und erläutert die Folgen für die Leser\*innen und deren Verständnis.
- Welche Konzepte werden (explizit oder implizit) angesprochen? Inwiefern wird die Relevanz dieser Konzepte deutlich?

Im Fokus der Auswertung steht die Anwendung von erweitertem Fachwissen für den Schulischen Kontext, was durch die Beantwortung der Leitfragen zum Tragen kommt.

Weiterhin wird auch die Qualität der Äußerungen (fachliche Angemessenheit) bei ausgewählten Passagen codiert.

### Zur Verwendung des Kategoriensystems

Die Zuordnung zu den Kategorien erfolgt über das Programm MaxQDA. Die Kategorien wurden zunächst deduktiv erstellt und durch induktiv, aus dem Material gewonnene Kategorien ergänzt.

Aussagen, die diesen Kategorien nicht zuzuordnen sind (z.B. ausschließlich strukturierende Aussagen, private Gespräche, etc. ) werden nicht codiert, d.h. die Kodierung erfolgt eventbasiert.

Es werden stets Sinnabschnitte codiert, die entweder nur einen Sprecher betreffen oder auch Sprecherwechsel mit einbeziehen. Zur besseren Vergleichbarkeit der Codierung bei zwei Codierer\*innen werden prinzipiell gesamte Passagen immer bis zum Sprecherwechsel codiert, auch wenn bereits ein anderer fachlicher Inhalt angesprochen wurde.

Eine Mehrfachcodierung bestimmter Passagen ist möglich.

### Literatur

Kuckartz, Udo (2012): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Schrier, M. (2014): Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, Vol 15, No 1, Art. 18, Online verfügbar, URL: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/2043/3635> (letzter Aufruf: 20.08.2019)

Hauptkategorie: Leitfragen			
Subkategorien • Sub-Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
<b>Vorwissen, um Begriffe/Textabschnitte zu verstehen?</b>	Benötigtes Vorwissen, um Begriffe oder Textabschnitte im vorliegenden Text zu verstehen.	Wird codiert, wenn genannt wird, dass die Begriffe oder Textabschnitte nicht ohne Vorwissen zu verstehen wäre.	GA17DT: <i>Aber ich würde auch sagen, dass die Bestandteile auch Vorwissen ist. Weil hier steht, die sind zu erkennen. Also musst du eigentlich schon wissen wie die aussehen. Da steht einfach nur, dass zu erkennende sind Mitochondrien. Aber du weißt noch gar nicht wie ein Mitochondrium aussieht.</i> HE27ST: <i>Stimmt.</i> GA17DT: <i>Also musst du es vorher auch gehabt haben. Oder? Wenn man die Beschriftung weglässt. Ich weiß nicht ob die Beschriftung auch dazu zählt oder nicht. Wenn man die Beschriftung oben weglässt und da steht einfach ‚Man sieht ein Mitochondrium‘, muss ich wissen wie ein Mitochondrium vorher aussieht.</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_GA17DT_MA12RT_HE27DT 102-104)
<b>Identifizierte Reduktionen</b> • Verbesserung	Reduktionen innerhalb des Textes werden erkannt und benannt.	Wird codiert, wenn genannt wird, welches Fachwissen reduziert worden ist und was die Reduktion ist.	CH10IN: <i>Vielleicht das mit dem Schlüssel-Schloß-Prinzip. Ist das eine Reduktion? Da wird gesagt, dass Signalübertragungen stattfinden mittels Schlüssel-Schloß-Prinzip.</i> BÄ04AU: <i>Stimmt Signalübertragung ist ungenau.</i> CH10IN: <i>Was sind Signalübertragungen, oder?</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_BÄ04AU_DE05RG_CH10IN 94-96)
<b>Folgen von Reduktionen</b>	Mögliche Folgen von Reduktionen, z.B. (fachlich unangemessene) Vorstellungen, die durch die Reduktionen beim Leser/in ausgelöst werden, werden erkannt und benannt.	Wird codiert, wenn explizit möglich Folgen von Reduktionen genannt werden.	HE27ST: <i>Und eigentlich kann man ja hier, wenn man dreischichtigen Aufbau hört, kann man das auch so sehen, dass sei denken, das diese Membran nicht doppelschichtig ist. Also keine Doppelmembran ist, sondern vielleicht dreifach. Als dreischichtiger Aufbau, dass sie denken, dass es keine Doppelmembran ist, sondern eine dreifache.</i> GA17DT: <i>Das wären dann die Folgen. Reduktion. Folgen.</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_GA17DT_MA12RT_HE27DT 215-216)  JU13IN: <i>Ich weiß nicht ob das schon zu einer Reduktion gehört, aber ich finde das „gezielt“ ein bisschen komisch, weil irgendwie vermittelt mir das „gezielt“, die Zelle will jetzt mehr Moleküle von dem und dem haben. Also holt sie explizit die irgendwie raus.</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_JU13IN_CL22EF_BE03IN: 31)
<b>Identifizierte Konzepte</b>	Biologische Konzepte, die im Text erkannt und benannt worden sind.	Wird codiert, wenn die Konzepte explizit genannt werden.	JU13IN: <i>Bzw. dann ist das doch eigentlich ein Konzept oder? Die Unterschiede von pro- und eukaryotischen Zellen.</i> BE03IN: <i>Ja. (...)</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_JU13IN_CL22EF_BE03IN: 63-64)  BÄ04AU: <i>Ich überlege grad noch wegen der Stimulierung bzw. Hemmung. Ob das auch schon Basiskonzept ist oder... (...) Obwohl na gut, das zählt bei Schlüssel-Schloß-Prinzip teilweise mit rein.</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_BÄ04AU_DE05RG_CH10IN 40)
<b>Relevanz der Konzepte deutlich?</b>	Die Bedeutung von biologischen Konzepten im Text wird entweder ausreichend oder nicht ausreichend verdeutlicht.	Wird codiert, wenn die vorhandene oder nicht vorhandene Deutlichkeit der Relevanz der im Text identifizierten Konzepte erwähnt wird.	AL15HA: <i>Aber so richtig klar wird nicht, was Kompartimentierung ist. So nur "Kompartimentierung ermöglicht unterschiedliche Konzentrationsgradienten aufzubauen", aber so wirklich was das ist, wird nicht klar.</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_KA04IN_AL15HA: 45 - 45)  AL31RG: <i>Wenn das jetzt nicht weiter erwähnt wird, dann denken sich Schüler "Das Flüssig-Mosaik-Modell muss ich mir überhaupt nicht merken, das hat ja eh keinen Stellenwert" dabei hat es den ja.</i> (Transkript_Audio_Dekonstr_AL31RG_ME24IG: 107 - 107)



Hauptkategorie: Fachliche Hürden			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
-	Eine oder mehrere Aussagen sind fachlich unangemessen dargestellt.	Wird codiert, wenn die Aussage(n), die gemacht worden sind, fachlich nicht angemessen sind und biologische Konzepte falsch dargestellt werden.	<p>GA17DT: Was meinen sie denn mit zwei elektronendichte Linien? Elektronendichte Linien? Was sind denn elektronendichte Linien? (...) HE27ST: Na bei der Membran. Doppelmembran... MA12RT: Das ist die Doppelmembran. HE27ST: ...die nicht lichtdurchlässig sind. (...) Man hat zwei Linien und dazwischen ist der helle Bereich. GA17DT: Ja genau. Ich konnte mit elektronendichte Linien nichts anfangen. MA12RT: Aber wäre es dann nicht besser zu sagen zwei elektronenlichtundurchlässige Linien? Das versteht man vielleicht besser als zwei elektronendichte. GA17DT: Elektronendichte Linien. HE27ST: Elektronendichte? Ich denke, dass ist wenn ganz viele Elektronen und da kommt das Licht nicht durch. Und dadurch ist der Bereich dunkel und da wo weniger Elektronen sind kommt mehr Licht durch. GA17DT: Ich hab das Gefühl, dass die Linien die man sieht, Elektronen sind. Einfach als (unv.) HE27ST: Das kann sein. GA17DT: So stelle ich mir da gerade vor. MA12RT: Das kann natürlich auch sein. GA17DT: So kommt es mir nämlich gerade vor. Zwei elektronendichte Linien. Man sieht zwei Linien, die...Man stellt sich vor (unv.) Elektronen. Da musst du auch wissen... HE27ST: Dann können wir das auf jeden Fall schon unterstreichen, weil wir damit schon Probleme haben. MA12RT: Ja. (Unv.) GA17DT: (Unv.) Ich bin übelst verwirrt. Unter was steht das denn? MA12RT: Entweder sind das Elektronen die kein Licht durchlassen oder es sind die Elektronen. (Transkript_Audio_Dekonstr_GA17DT_MA12RT_HE27DT: 171-193)</p>

Hauptkategorie: fachsprachliche Hürden			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
-	Die inhaltlichen Sachverhalte werden fachsprachlich unzureichend dargestellt. Dabei ist die Darstellung fachlich nicht unbedingt unangemessen.	Wird codiert, wenn fachsprachliche Schwierigkeiten geäußert werden.	<p>Ist Kopfbereich/ Schwanzbereich eine Reduktion? DE05RG: Das ist, glaube ich, echt ein biologischer Fachbegriff. Weil es steht auch echt in Fachliteratur. CH10IN: Na gut, dann habe ich nichts gesagt. Ich dachte das ist eher zum merken und veranschaulichen. DE05RG: Ich glaube sie wissen auch gar nicht wie sie es anders nennen sollen. (Transkript_Audio_Dekonst_BÄ04AU_DE05RG_CH10IN: 48 - 51)</p> <p>BR19ER: Was ist denn die Filmfläche? Die die man filmt oder wie? CL27IN: Nein. Das ist die...Kennst du das nicht? Wenn du Sonnencreme drauf hast, dann ist es doch auch immer wie ein Film. Das meinen die, glaube ich, mit Filmfläche. (Transkript_Audio_Dekonst_BR19ER_CL27IN: 84 - 85)</p>

## II.d) Codierleitfaden für die Auswertung der konzeptorientierten Sachanalyse und des Lerntextes

**Stand: nach Auswertung von Zyklus 3 (WiSe 2018/19)**

### Zur Erstellung des Kategoriensystems

Zur Codierung dienen deduktiv gebildete Kategorien (curriculare Analyse: Schulwissen und universitäres Wissen zum Themenbereich Biomembran), die im Laufe der Auswertung durch induktive Kategorien (aus dem Material heraus) ergänzt werden (Kuckartz 2012). Es können ebenfalls induktiv Subkategorien gebildet werden, um die Aussagen besser zu differenzieren. Es wird dabei in folgender Schrittfolge vorgegangen:

- Transkription und Sich-Vertraut-Machen mit dem Material
- Bestimmen von Fundstellen / Codiereinheiten im Material
- (Weiter-)Entwicklung von Subkategorien und Kategoriendefinitionen (auch Hauptkategorien können ergänzt werden)
- Erprobung des Kategoriensystems
- Modifikation des Kategoriensystems
- Kodieren des gesamten Materials mit dem überarbeiteten Kategoriensystem
- Ergebnisdarstellung, Interpretation (vgl. Schreier 2014)

### Ziel der Auswertung

Die Aufgaben zur Rekonstruktion konzeptorientierter fachlicher Texte sind in zwei Teile geteilt. Der fachliche Teil des Codierleitfadens und die Kategorien zur Bewertung der Qualität der fachlichen Aussage (fachliche Angemessenheit) kann für beide erstellten Texte verwendet werden. Hinsichtlich der Leitfragen werden bei Sachanalyse und Lerntext unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt

Die Studierenden erhalten den Auftrag eine **konzeptorientierte Sachanalyse** zum Thema „Stofftransport in der Zelle: Endo- und Exocytose“ innerhalb einer tabellarischen Vorlage zu verfassen. Anhand von Leitfragen wird auf das *erweiterte Fachwissen für den schulischen Kontext* fokussiert.

*Erstellt eine Sachanalyse zum Thema „Stofftransport in der Zelle: Endo- und Exocytose“ (1-1,5 Seiten)*

Kommentiert in der vorgesehenen Spalte:

- Welche elementaren Probleme, Begriffe und Zusammenhänge enthält das Thema?
- Welche Konzepte sind erkennbar/ herauszuarbeiten?
- Welche Konzepte/Inhalte müssen vorher verstanden worden sein?
- Welche Bedeutung hat das Thema in der Fachwissenschaft?
- Welche Verbindungen zeigen sich zu anderen Themen?

Ebenso verhält es sich mit der Erstellung des **konzeptorientierten fachlichen Lerntextes**:

*Formuliert einen konzeptorientierten fachlichen Lerntext/Informationstext zum Thema „Stofftransport in der Zelle: Endo- und Exocytose“*

Zielgruppe: Klassenstufe 11 Umfang: ½ - 1 Seite

Kommentiert in der vorgesehenen Spalte

- - Welches Vorwissen setzt ihr für die bestimmten Begriffe/Textabschnitte voraus?
- - Welcher Bezug zu Konzepten soll durch bestimmte Abschnitte deutlich werden?
- - Wo werden von euch bewusst bestimmte Fachwissensinhalte zu Gunsten der Komplexitätsreduktion reduziert?
- - Wo gibt es Ansatzmöglichkeiten für den weiteren Aufbau von Fachwissen?

Im Fokus der Auswertung steht die Anwendung von *erweitertem Fachwissen für den schulischen Kontext*, was durch die Beantwortung der Leitfragen zum Tragen kommt.

Weiterhin wird auch die Qualität der Äußerungen (fachliche Angemessenheit) bei ausgewählten Passagen codiert.

Auch die geäußerten biologischen Konzepte werden innerhalb ihrer Zugehörigkeit zum Schulwissen und universitären Wissen (Grundlage curriculare Analyse) kategorisiert.

### Zur Verwendung des Kategoriensystems

Die Zuordnung zu den Kategorien erfolgt über das Programm MaxQDA. Die Kategorien wurden zunächst deduktiv erstellt und durch induktiv, aus dem Material gewonnene Kategorien ergänzt.

Es werden stets Sinnabschnitte codiert. Da die Sachanalyse und der Lerntext als Scan in handschriftlicher Form vorliegen, werden Bildausschnitte codiert.

Eine Mehrfachcodierung bestimmter Passagen ist möglich.

### Literatur

Kuckartz, Udo (2012): Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Weinheim, Basel: Beltz Juventa.

Schrier, M. (2014): Varianten qualitativer Inhaltsanalyse: Ein Wegweiser im Dickicht der Begrifflichkeiten. Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research, Vol 15, No 1, Art. 18, Online verfügbar, URL: <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/2043/3635> (letzter Aufruf: 20.08.2019)

Hauptkategorie: Fachliche Konzepte			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
<p><b>Sowohl Schul- als auch univ. Wissen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funktion Kommunikation</li> <li>• Endomembransystem</li> <li>• Membranfluss</li> </ul>	<p>Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Stofftransports in der Zelle am Beispiel Endo- und Exocytose (keine genaue Zuordnung möglich, da fließende Übergänge)</p>	<p>Wird codiert, wenn Sub-Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden.</p>	<p><b>MA12RT:</b> „Damit alle Prozesse eines Organismus ablaufen können, müssen verschiedene Zellen miteinander kommunizieren. Dafür ist der Stofftransport notwendig.“</p> <p><b>BE03IN:</b> „Die Endo- und Exocytose sind in die Dynamik von Membrankompartimenten eingebettet.“</p> <p><b>DE05RG:</b> „Im Gegensatz zum Membrantransport versteht man unter Membranfluss den vesikulären Transport von ganzen Kompartimenten. Durch den Membranfluss können sich kleine Teilkompartimente von größeren abtrennen, in der Zelle mithilfe des Cytoskeletts und seiner Motorproteine gerichtet verschoben werden und mit anderen Kompartimenten verschmelzen.“</p>
<p><b>Universitäres Wissen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Endocytoseweg</li> <li>• Sekretorischer Weg</li> <li>• Exocytosearten</li> <li>• Vesikeltransport über Cytoskelettelemente und Motorproteine</li> <li>• dynamisches Gleichgewicht Endo-/Exocytose</li> <li>• Membranrecycling</li> <li>• Vesikelabschnürungsprozesse <ul style="list-style-type: none"> <li>-Hüllproteine</li> <li>-beteiligte Proteine</li> </ul> </li> <li>• Vesikelfusionsprozesse <ul style="list-style-type: none"> <li>-beteiligte Proteine</li> </ul> </li> <li>• Rezeptoren</li> </ul>	<p>Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Stofftransports in der Zelle am Beispiel Endo- und Exocytose (innerhalb der Wissenskategorie des universitäres Wissen).</p>	<p>Wird codiert, wenn Sub-Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden).</p>	<p><b>DE05RG:</b> „Einige sekretorische Vesikel verweilen jedoch in der Nähe der Plasmamembran und warten auf ein extrazelluläres Signal, welches die Fusion mit der Membran veranlassen.“</p> <p><b>MA12RT:</b> „Bei allen Vesikelabschnürungsprozessen spielt dabei z.B. das Aktin-Cytoskelett eine Rolle. Dies ist so, da Aktin eine wichtige Rolle bei der Endocytose spielt, da Aktin an der engsten Stelle bei der Abschnürung in hoher Konzentration vorliegt, um dem Dynamin zu helfen, welches das Abschnüren der Vesikel durch die erforderliche GTPase Dynamin erst ermöglicht. Dis Abschnürung wird außerdem durch die Polymerisation von Aktin zu Aktinfilamenten begünstigt.“</p> <p><b>CL22EF:</b> „Pinocytose dahingegen wird hauptsächlich von clathrinbeschichteten Einbuchtungen und Vesikeln durchgeführt. Die Vesikel schnüren sich von der Plasmamembran ab, werfen ihre Hülle ab und verschmelzen mit Endosom. Dabei gerät extrazelluläre Flüssigkeit in die beschichtete Vertiefung, was dazu führt, dass ein beschichtetes Vesikel gebildet wird und in der extrazellulären Flüssigkeit gelöste Stoffe mit aufgenommen werden.“</p>
<p><b>Schulwissen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vesikelfusion - ohne molekularen Prozess</li> <li>• Exocytose=Abgabe</li> <li>• Endocytose=Aufnahme</li> <li>• Vesikelabschnürung- ohne molekularen Prozess</li> <li>• Kompartimentierung</li> <li>• Funktion Transport</li> <li>• Endocytosearten</li> <li>• Transportvesikel</li> </ul>	<p>Konzepte und Zusammenhänge hinsichtlich des Stofftransports in der Zelle am Beispiel Endo- und Exocytose (innerhalb der Wissenskategorie des Schulwissen).</p>	<p>Wird codiert, wenn Sub-Subcode oder Beschreibungen fachlich angemessen erläutert, beschrieben, genannt oder in Zusammenhang gebracht werden. Es kann sowohl mit dem Subcodes als auch mit den Beschreibungen (in Form von Sub-Subcodes codiert werden).</p>	<p><b>BE03IN:</b> „Beides sind Transportprozesse bei Eukaryoten, welche nach dem Grundprinzip der Vesikelabschnürung und Vesikelfusion funktionieren.“</p> <p><b>GA17DT:</b> „Aber auch Abfallstoffe müssen über die Vesikel zur Plasmamembran transportiert werden. Diesen Transportweg bezeichnet man als Exocytose.“</p> <p><b>CL22EF:</b> Je nach Größe der endocytotischen Vesikel unterscheidet man hier zwischen zwei Haupttypen: Pinocytose und Phagocytose. Pinocytose umfasst die Aufnahme von Flüssigkeiten und Molekülen über kleine Vesikel (&lt;150 nm), wohingegen die Phagocytose die Aufnahme von großen Partikeln wie Mikroorganismen in Vesikeln mit einem Durchmesser von &gt;250nm beschreibt.“</p>

Hauptkategorie: Fachsprachliche Schwierigkeiten			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
-	Die inhaltlichen Sachverhalte werden fachsprachlich unzureichend dargestellt. Dabei ist die Darstellung fachlich nicht unbedingt unangemessen.	Wird codiert, wenn fachsprachliche Schwierigkeiten geäußert werden.	<b>RE17AM:</b> Zum unabhängigen Stofftransport in der Zelle können Transportvesikel verwendet werden.

Hauptkategorie: Fachliche Hürden			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
	Eine oder mehrere Aussagen sind fachlich unangemessen dargestellt.	Wird codiert, wenn die Aussage(n), die gemacht worden sind, fachlich nicht angemessen sind und biologische Konzepte falsch dargestellt werden.	BÄ04AU: „Weiterhin kann man zwei Fehler der Endocytose erwähnen (Endosymbiose; Cholesterinwerte) und damit einen weiteren AUSblick in die Zukunft geben.  BE03IN: „Bei der Vesikelbildung kommen verschiedene Hüllproteine zum Einsatz. Diese sind die Coat-Proteine, Clathrin, Calveolin und Aktin.“

## Hauptkategorie: Leitfragen für Sachanalyse

Hauptkategorie: Leitfragen			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
<b>Vorwissen (Expl. genannt)</b>	Benötigtes Vorwissen, um Begriffe oder Textabschnitte im vorliegenden Text zu verstehen.	Wird codiert, wenn genannt/gekennzeichnet wird, dass die Begriffe oder Textabschnitte nicht ohne Vorwissen zu verstehen wäre.	<b>HE12DT:</b> „Vorwissen: kleinere und größere Moleküle; aktiver und passiver Transport-> Diffusion; Aufbau Transportproteine, Cholesterin und Lipide; Aufbau Biomembran.“  <b>DE05RG:</b> „Vorwissen: Disulfidbrücken, Aufbau Proteine, Lipide, Kohlenhydrate, Arten von Proteinen, Enzyme.“
<b>Konzepte (expl. genannt)</b>	Wenn innerhalb des Textes Konzepte erkannt werden und explizit benannt werden.	Wird codiert, wenn die Konzepte explizit gekennzeichnet werden.	<b>CH10IN:</b> „Konzept: Exocytose/Endocytose ist die Abgabe/Aufnahme von Stoffen durch die Abschnürung von Vesikeln an der Plasmamembran.  <b>DE05RG:</b> „Konzept: Bei der Vesikelbildung können folgende Hüllproteine beteiligt sein: Coat Proteins, Clathrin und Caveolin.“
<b>Zusammenhang mit anderen Themen (benannt)</b>	Die inhaltlichen Sachverhalte werden mit anderen (biologischen) Themen in Zusammenhang gebracht.	Wird codiert, wenn explizite Zusammenhänge im Text gekennzeichnet werden.	<b>GA17DT:</b> „Verbindung zu anderen Themen: insgesamt die Aufnahme von Stoffen, Abfolge z.B. bei Pflanzen die Nährstoffaufnahme.“  <b>BE03IN:</b> „Verbindung: Zellbiologie.“
<b>Bedeutung für die Fachwissenschaft (expl. benannt)</b>	Wenn innerhalb des Textes die Bedeutung des Sachverhaltes für die Fachwissenschaft gekennzeichnet wird.	Wird codiert, wenn die Bedeutung für die Fachwissenschaft explizit im Text gekennzeichnet wird.	<b>BÄ04AU:</b> „Gerade bezüglich dieser beiden Themen lässt sich die Relevanz für Schüler/innen im Bereich Ernährung und Gesundheit erbringen.“  <b>BE03IN:</b> „Thema: weniger große Bedeutung in Schule, Große Bedeutung in Fachwissenschaft.“
<b>Elementare Zusammenhänge (expl. benannt)</b>	Die inhaltlichen Sachverhalte werden mit anderen (biologischen) Themen in Zusammenhang gebracht, die elementare Grundlagen sind.	Wird codiert, wenn elementare Zusammenhänge im Text gekennzeichnet werden.	<b>CL22EF:</b> „Für den Stofftransport einer Zelle sind Vesikel unverzichtbar.“

## Hauptkategorie: Leitfragen für Lerntext

Hauptkategorie: Leitfragen			
Subkategorien	Definition	Codierregel	Ankerbeispiele
<b>Vorwissen (Expl. genannt)</b>	Benötigtes Vorwissen, um Begriffe oder Textabschnitte im vorliegenden Text zu verstehen wird benannt.	Wird codiert, wenn genannt/gekennzeichnet wird, dass die Begriffe oder Textabschnitte nicht ohne Vorwissen zu verstehen wäre.	<b>BÄ04AU:</b> „Dies passiert in der Regel vom ER über den Golgi hin zur Zellmembran“ [benötigtes Vorwissen über Struktur und Funktion von Zellorganellen gekennzeichnet]  <b>CH10IN:</b> „Vorwissen: aktiver und passiver Transport, Diffusion, Transportproteine, Aufbau Biomembran“
<b>Konzepte (expl. genannt)</b>	Innerhalb des Textes werden Konzepte erkannt werden und explizit benannt.	Wird codiert, wenn die Konzepte explizit gekennzeichnet werden.	<b>CH10IN:</b> „Konzept: Endocytose/Exocytose ist die Aufnahme/Abgabe von Stoffen durch die Abschnürung/Fusion von Vesikeln an der Plasmamembran“
<b>Bewusste Reduktion</b>	Innerhalb des Textes werden bewusste Reduktionen zu Gunsten der Komplexitätsreduktion vorgenommen. Diese werden explizit als solche gekennzeichnet.	Wird codiert, wenn bewusste Reduktionen im Text gekennzeichnet werden.	<b>BÄ04AU:</b> „Unterteilt wird die Endocytose in Phygo- und Pinocytose.“ [Reduktion: Rezeptorvermittelte Endocytose]  <b>CH10IN:</b> „Reduktionen: Keine Proteine, wie z.B. Clathrin genannt, die diesen „Mantel“ bilden. „Mantel“-Metapher“
<b>Ansatz für Aufbau von Fachwissen</b>	Innerhalb des Textes werden Ansatzmöglichkeiten für den Aufbau von Fachwissen gekennzeichnet.	Wird codiert, wenn Möglichkeiten für den Aufbau von Fachwissen explizit im Text gekennzeichnet wird.	<b>BE03IN:</b> „Ansatz für Fachwissen: Ablauf erläutern, rezeptorverm. E., Caveolare E. näher erläutern [...] s. Reduktion, genauere Erläuterung der Prozesse“

## II.e) Codierleitfaden für die Auswertung der retrospektiven Kurzinterviews

**Stand: nach Auswertung von Zyklus 3 (WiSe 2018/19)**

### Zur Erstellung des Kategoriensystems

Das vorliegende Kategoriensystem zur Auswertung der retrospektiven Interviews basiert auf einem durch eine Bachelorarbeit überarbeiteten Kategoriensystem zur Auswertung eines retrospektiven Interviews zur kooperativen Erstellung einer Concept Map (Griebel 2017). Da im Laufe der Iteration die Interviewfragen reduziert und hinsichtlich aller Lerngelegenheiten angeglichen wurden, wurde auch das Kategoriensystem entsprechend angepasst.

### Ziel der Auswertung

Nach den jeweiligen Design-Experimenten zur kooperativen Erstellung einer Concept Map, zur Dekonstruktion von Schulbuchtexten und zur Rekonstruktion fachlicher Texte wurde ein Kurzinterview durchgeführt.

### Interviewleitfaden

- Woher waren dir die Inhalte größtenteils bekannt?
- Beschreibe, was du inhaltlich-fachlich dazugelernt hast?
- Hattest du inhaltlich-fachliche Schwierigkeiten? Wenn ja, an welchen spezifischen Stellen?
- Für wie relevant hältst du die heute erarbeiteten fachlichen Inhalte für die Ausübung deines späteren Berufs? Begründe deine Antwort.
- Kannst du Inhalte benennen, die du deines Erachtens nicht für deinen späteren Beruf benötigst? Wenn ja, welche?

Der Fokus der Auswertung lag dabei auf Einschätzungen zur Herkunft des Wissens, auf Selbsteinschätzungen des Lernprozesses und auf Einschätzungen zur Relevanz der behandelten fachlichen Inhalte. Dementsprechend wurden die Interviewleitfragen ausgerichtet.

### Zur Verwendung des Kategoriensystems

Die Zuordnung zu den Kategorien erfolgt über das Programm MaxQDA. Die Kategorien wurden zunächst deduktiv erstellt und durch induktiv aus dem Material gewonnene Kategorien ergänzt.

Aussagen, die diesen Kategorien nicht zuzuordnen sind (z.B. ausschließlich strukturierende Aussagen, private Gespräche, etc.) werden nicht codiert, d.h. die Kodierung erfolgt eventbasiert.

Es werden stets Sinnabschnitte codiert, die entweder nur einen Sprecher betreffen oder auch Sprecherwechsel mit einbeziehen. Zur besseren Vergleichbarkeit der Codierung bei zwei Codierer\*innen werden prinzipiell gesamte Passagen immer bis zum Sprecherwechsel codiert, auch wenn bereits ein anderer fachlicher Inhalt angesprochen wurde.

Eine Mehrfachcodierung bestimmter Passagen ist möglich.

### Literatur

Griebel, M. (2017): Anwendung und Überarbeitung des Kategoriensystems zur Auswertung von Partnerinterviews zur Einschätzung einer Lerngelegenheit des Lehramtsstudiums. Bachelorarbeit. Potsdam, Universität Potsdam.

Leitfrage 1 Woher waren dir die Inhalte größtenteils bekannt?			
Hauptkategorie: Herkunft des Wissens			
Subkategorie - Sub-Subkategorie	Definition	Codier-Regel	Ankerbeispiel
<b>Schule</b> - Abiturvorbereitung - Unterrichtseinheit	Das Herkunft des Wissens wird ausschließlich als schulisch beschrieben.	Wird codiert, wenn explizit gesagt wird, dass das Wissen auf der Schule zurückgeht. Auch Angaben über die Quelle des Wissens werden mitcodiert.	„Aus der Schulzeit“
<b>Größtenteils Schule</b> - Ergänzend Universität	Das Herkunft des Wissens wird überwiegend als schulisch beschrieben.	Wird bei undifferenzierten Sinneinheiten codiert. Auch Angaben über die zusätzlichen Quellen des Wissens werden mitcodiert	„„Also der größte Teil aus der Schule. Ein paar kleinere Sachen waren aus der Uni.“
<b>Größtenteils Universität</b> - Vorlesung - Klausurvorbereitung - begleitend mit - Lehrbuch	Das Herkunft des Wissens wird überwiegend als universitär beschrieben.	Wird bei undifferenzierten Sinneinheiten codiert. auch Angaben über die zusätzlichen Quellen des Wissens werden mitcodiert	„Ja, vor allem aus Lehrbüchern [...], die ich in der Zellbiologie Vorlesung verwendet habe zur Klausurvorbereitung“
<b>Im Rahmen dieser Lehrveranstaltung</b>	Das Wissen stammte größtenteils aus der Vorbereitung zu dieser Lehrveranstaltung.	Wird codiert, wenn die Sinneinheit auf die Lehrveranstaltung verwiesen.	„Habe jetzt gerade vor dem Seminar die Hausaufgabe gemacht gehabt und habe mir dafür ein Zellbiobuch durchgelesen“

Leitfrage 2 Beschreibe, was du inhaltlich-fachlich dazugelernt hast?			
Hauptkategorie: inhaltlich-fachlich dazugelernt			
Subkategorie	Definition	Codier-Regel	Ankerbeispiel
<b>Nichts dazugelernt</b>	Alle Inhalte und Zusammenhänge waren bekannt und es wurde nichts dazugelernt.	Wird nur bei undifferenzierten Aussagen codiert.	„Neues Wissen habe ich nicht gelernt““
<b>Wenig dazugelernt</b>	Der größte Teil der Inhalte und Zusammenhänge waren bekannt.	Sowohl die Aussage über den Erwerb von einem geringen Anteil neuen Wissens als auch die Beispiele über die neuen Wissensaneignungen werden codiert.	„„Also der größte Teil aus der Schule. Ein paar kleinere Sachen waren aus der Uni.“
<b>Wiederholung von inhaltlich – fachlichem Wissen</b>	Die fachlichen Inhalte und die Zusammenhänge dienen als Wiederholung des vorhandenen Wissens.	Wird bei undifferenzierten Sinneinheiten codiert. auch Angaben über die zusätzlichen Quellen des Wissens werden mitcodiert	„Fachlich dazugelernt nichts, aber wieder aufgefrischt.“
<b>Begriffe/ Konzepte</b>	Die Kategorie beschreibt konkrete inhaltliche Aussagen zu Begriffen und Konzepten.	Wird codiert, wenn die Sinneinheit auf die Lehrveranstaltung verwiesen.	„Vor allem, den Aufbau der Glycerophospholipide. Wie der hydrophile und der hydrophobe Teil aufgebaut ist“
<b>Zusammenhänge</b>	Die Kategorie beschreibt inhaltliche Aussagen zu Zusammenhängen von mehreren Begriffen und Konzepten.	Wird codiert, wenn Aussagen über Zusammenhänge gemacht werden. Sowohl die Aussage als auch genannte Beispiele werden codiert.	„Mir ist bewusst geworden, was mit Biomembran alles zusammenhängt und wie man das halt verknüpfen kann“
<b>Generelles Verständnis</b>	Die Kategorie beschreibt allgemeine Aussagen bezüglich des generellen Verständnisses über die Thematik.	Wird codiert bei vagen Aussagen zum generellen Verständnis über die Gesamthematik oder Teilthematiken.	„allerdings hat die Concept Map geholfen, dass Wissen neu zu strukturieren und Verbindungen zu erkennen“



Leitfrage 3 An welchen spezifischen Stellen hattest du inhaltlich – fachliche Schwierigkeiten?			
<b>Hauptkategorie: inhaltlich-fachliche Schwierigkeiten</b>			
<b>Subkategorie</b>	<b>Definition</b>	<b>Codier-Regel</b>	<b>Ankerbeispiel</b>
<b>Keine Inhaltlichen Schwierigkeiten</b>	Inhaltlich – fachliche Schwierigkeiten traten bei der Erstellung der Concept – Map nicht auf.	Wird nur codiert, wenn explizit geäußert wurden, dass keine inhaltlichen Schwierigkeiten auftraten.	„Die hatte ich nicht.“
<b>Einzelne Inhalte betreffend</b>	Inhaltlich – fachliche Schwierigkeiten traten bei einzelnen Begriffen oder Konzepten auf	Sowohl die Äußerung, dass einige Schwierigkeiten vorlagen, als auch die Benennung der Schwierigkeiten als solche werden codiert.	„Der allgemeine Aufbau von diesen Glycerophospholipiden. Ich wusste noch, dass es da halt den Kopf gibt und den Schwanz und nicht genau woraus sie bestehen“
<b>Sammlung von Begriffen betreffend</b>	Inhaltlich – fachliche Schwierigkeiten traten bei der Sammlung von Begriffen auf.	Sowohl die Äußerung, dass einige Schwierigkeiten vorlagen, als auch die Benennung der Schwierigkeiten als solche werden codiert.	„So schwierig, weil man nicht weiß was alles noch dazu kommt.“
<b>Verknüpfungen von Inhalten betreffend</b>	Inhaltlich – fachliche Schwierigkeiten traten bei den Überlegungen zu Zusammenhängen von mehreren Begriffen oder Konzepten auf.	Sowohl die Äußerung, dass einige Schwierigkeiten vorlagen, als auch die Benennung der Schwierigkeiten als solche werden codiert.	„Zuzuordnen (..), ob Carrier nur aktiv oder passiv sind.“
<b>Zuordnung Struktur – Funktion</b>	Inhaltlich – fachliche Schwierigkeiten traten bei der Einordnung der Inhalte hinsichtlich der Struktur und Funktion auf.	Sowohl die Äußerung, dass einige Schwierigkeiten vorlagen, als auch die Benennung der Schwierigkeiten als solche werden codiert.	„Einordnung der transportierten Ionen und Moleküle, ob das passiver oder aktiver Transport ist.“  „Wo Uni-/Sym- und Antiporter jetzt genau hingehören“

Leitfrage 4: Für wie relevant hältst du die heute erarbeiteten fachlichen Inhalte für die Ausführung deines späteren Berufs? Begründe deine Antwort.			
<b>Hauptkategorie: Berufsrelevanz</b>			
<b>Subkategorie</b> - Sub-Subkategorie	<b>Definition</b>	<b>Codier-Regel</b>	<b>Ankerbeispiel</b>
<b>Umfang Relevanz</b> - gar nicht - teilweise - sehr	Die Kategorie beschreibt Aussagen zum Umfang der wahrgenommenen Berufsrelevanz	Wird nur codiert, wenn Aussagen zum Umfang der Relevanz getroffen werden. Die Kategorien 6.2. – 6.4. können dieser Kategorie im Rahmen der Begründung folgen.	„Ich halte das was wir gemacht haben für sehr relevant“
<b>Begründung Arbeitsfelder</b> - Unterrichtsdurchführung - Unterrichts-Vorbereitung - Unterrichtsreflexion	Die Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung, die zukünftige Arbeitsfelder betreffen, in denen das Wissen entweder für relevant oder irrelevant betrachtet wird.	Wird im Rahmen von Aussagen zur Begründung codiert, wenn direkt ein Arbeitsfeld benannt wird für das Wissen als relevant.	„Also in der siebten Klasse würde ich es vielleicht nicht so detailliert machen, aber Oberstufe dann, da darf es dann schon detailliert sein.“
<b>Begründung: Institutionelle Vorgaben</b> - Rahmenlehrplan - Abitur	Diese Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung auf Grundlage der institutionellen Vorgaben des Kultusministeriums folgt.	Diese Kategorie wird codiert, wenn im Rahmen von Aussagen zur Begründung explizit die RLP und Abiturvorgaben genannt werden.	„Ist halt in der Abiturstufe Thema“ oder „Struktur und Funktion der Biomembran ein ganz essenzielles Thema im Lehrplan ist“
<b>Begründung - Schulbezogenes Thema</b>	Diese Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung, wenn es aus dem Blickwinkel/ Standpunkt der Schule begründet wird.	Wird im Rahmen von Aussagen zur Begründung codiert, wenn Konzepte und Begriffe als wichtig für die Schule erachtet werden.	„Ja also gerade Biomembran und sowas ist echt wichtig in der Schule“
<b>Begründung eigenes Lehrerwissen</b> - Generelles Verständnis in der Biologie	Diese Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung, die auf die	Wird im Rahmen von Aussagen zur Begründung codiert, wenn die Bedeutung des eigenen	„Weil es einem hilft den Stoff eben nochmal zu strukturieren und ja zu reaktivieren“

- Sicherung des Ausgangsniveaus	Bedeutung des Lehrerwissens zurückzuführen ist.	Wissens einer Lehrkraft im Vordergrund steht.	
<b>Begründung berufsethisch</b>	Die Kategorie beschreibt Aussagen innerhalb der Begründung, die auf ein generelles Berufsverständnis fokussieren	Wird im Rahmen von Aussagen zur Begründung codiert, die auf generelles Berufsverständnis/ Berufsethos fokussieren.	<i>„Ich finde es den Schülern gegenüber nicht fair, wenn man ihnen erzählt wie wichtig das Verständnis darüber ist und man es sich aber selbst erst kurz vor der Stunde angelesen hat.“</i>

Leitfrage 4: Kannst du Inhalte benennen, die du deines Erachtens nicht für deinen späteren Beruf benötigst? Wenn ja, welche?			
Hauptkategorie: Inhalte ohne Relevanz			
Subkategorie - Sub-Subkategorie	Definition	Codier-Regel	Ankerbeispiel
<b>Ja, universitäres Wissen</b> - als Lehrkraft - auf Schülerebene - außer vorkommende Inhalte im Rahmenlehrplan	Diese Kategorie beschreibt Inhalte aus dem universitären Wissen, die als nicht notwendig betrachtet werden.	Wird codiert, wenn die Aussagen und Inhalte dem universitären Wissen angehören. Die Begründung wird mit codiert.	<i>„Verschiedene Namen für die Phospholipide brauche ich später nicht.“  „Eigentlich nichts, höchstens den genauen Aufbau von den Glycerophospholipiden“</i>
<b>Ja, Schulwissen</b>	Es werden Inhalte aus der Kategorie des Schulwissens benannt, die nicht benötigt werden	Sowohl die Aussage als auch die speziellen Inhalte und die Begründung werden codiert.	<i>„Eigentlich nur die Zell - Zell Kontakte“</i>
<b>Nein</b>	Es wird geäußert, dass alle Inhalte benötigt werden.	Wird codiert, wenn explizit geäußert wurde, dass alle Inhalte benötigt werden.	<i>„Nö, alles was wir hier hatten ist schulelevant.“</i>